



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE
GENERACIÓN DE CHORRO DE AGUA DE FLUJO
LAMINAR ILUMINADO CON UN EQUIPO DE CONTROL
PARA SU FUNCIONAMIENTO”**

**ULLOA AUQUI NÉSTOR ALCÍVAR
CÓNDOR GUARANGA ROBERTO JAVIER**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-10-04

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

ULLOA AUQUI NÉSTOR ALCÍVAR

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE
CHORRO DE AGUA DE FLUJO LAMINAR ILUMINADO CON UN EQUIPO
DE CONTROL PARA SU FUNCIONAMIENTO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jorge Lema Morales
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Elvis Arguello
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-10-04

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

CÓNDOR GUARANGA ROBERTO JAVIER

Titulada:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE
CHORRO DE AGUA DE FLUJO LAMINAR ILUMINADO CON UN EQUIPO
DE CONTROL PARA SU FUNCIONAMIENTO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jorge Lema Morales
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Elvis Arguello
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ULLOA AUQUI NÉSTOR ALCÍVAR

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE CHORRO DE AGUA DE FLUJO LAMINAR ILUMINADO CON UN EQUIPO DE CONTROL PARA SU FUNCIONAMIENTO”

Fecha de Examinación: 2014-03-26

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Víctor Vásconez Velasco PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jorge Lema Morales DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Elvis Arguello ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Víctor Vásconez Velasco
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CÓNDROR GUARANGA ROBERTO JAVIER

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE CHORRO DE AGUA DE FLUJO LAMINAR ILUMINADO CON UN EQUIPO DE CONTROL PARA SU FUNCIONAMIENTO”

Fecha de Examinación: 2014-03-26

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Víctor Vásconez Velasco PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Jorge Lema Morales DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Elvis Arguello ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Víctor Vásconez Velasco
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Néstor Alcívar Ulloa Auqui

Roberto Javier Cóndor Guaranga

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudios.

Mis padres Isael Ulloa y Margarita Auqui, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaron. Gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se los debo a ustedes.

Mis hermanos, Liliana, Santiago y Vanessa, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

Mi esposa Paola y mi hijo Isael por dar alegría y felicidad a mi vida los quiero mucho.

Néstor Ulloa Auqui

A Dios, por ser la luz que guía cada paso de mi vida, por darme salud, inteligencia y fortaleza para alcanzar las metas que me propongo.

Mis padres, que me apoyaron y confiaron en mí en todo momento, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo, este triunfo es para ustedes.

Mis hermanos, que al igual en todo momento me supieron brindar todo su apoyo.

Roberto Cóndor Guaranga

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por abrirnos las puertas de la sabiduría y brindarnos la oportunidad de obtener una profesión.

Al Ingeniero Jorge Lema y al Ingeniero Elvis Arguello quienes guiaron el desarrollo de la presente tesis.

A nuestros padres quienes nos apoyaron en todo momento emocional y económicamente durante todo este proceso de formación como profesionales.

Néstor Ulloa Auqui

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por abrirnos las puertas de la sabiduría y brindarnos la oportunidad de obtener una profesión.

Al Ingeniero Jorge Lema y al Ingeniero Elvis Arguello quienes guiaron el desarrollo de la presente tesis.

A nuestros padres quienes nos apoyaron en todo momento emocional y económicamente durante todo este proceso de formación como profesionales.

Roberto Cóndor Guaranga

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO	
2.1 Ornamentación y estado actual de los chorros de la pileta del parque Guayaquil.....	4
2.2 Chorro perfecto o laminar.....	5
2.2.1 <i>Definición</i>	5
2.3 Tipos de generadores de agua de flujo laminar.....	5
2.3.1 <i>Generadores Safe-Rain (arco iris / chorro de cristal)</i>	5
2.3.2 <i>Generadores Aqua Clear (starburst laminar jet)</i>	6
2.3.3 <i>Generadores OASE Rainbow Star (jumping jet - laminar flow)</i>	7
2.3.4 <i>Generadores Lumiartecnia Internacional (surtidor diamante)</i>	7
2.4 Efectos del viento en un chorro de agua.....	8
2.5 Definiciones básicas de la hidráulica.....	8
2.5.1 <i>Flujo laminar</i>	8
2.5.2 <i>Flujo turbulento</i>	8
2.5.3 <i>Viscosidad</i>	9
2.5.3.1 <i>Viscosidad dinámica</i>	9
2.5.3.2 <i>Viscosidad cinemática</i>	10
2.5.4 <i>Número de Reynolds</i>	11
2.5.4.1 <i>Números críticos de Reynolds</i>	12
2.5.5 <i>Presión</i>	12
2.5.6 <i>Hidrodinámica</i>	12
2.5.6.1 <i>La ecuación de continuidad</i>	13
2.5.6.2 <i>Ecuación de Bernoulli</i>	13
2.5.6.3 <i>Pérdidas de energía hidráulica (h_L)</i>	14
2.6 Movimiento parabólico (trayectoria del chorro laminar).....	19
2.6.1 <i>Definición</i>	19
2.6.2 <i>Análisis del movimiento parabólico</i>	19
2.6.3 <i>Velocidad inicial y final del movimiento parabólico</i>	21
2.6.3.1 <i>Velocidad inicial</i>	21
2.6.3.2 <i>Velocidad final</i>	21
2.6.4 <i>Alcance horizontal y altura máxima</i>	22
2.6.4.1 <i>Alcance horizontal R</i>	22
2.6.4.2 <i>Altura máxima h</i>	23
2.7 Análisis microscópico del flujo de fluidos.....	24
2.7.1 <i>Ecuación diferencial de la continuidad</i>	25
2.7.2 <i>Tensiones cortantes para fluidos newtonianos</i>	25
2.7.3 <i>Ecuaciones de cantidad de movimiento</i>	26
2.7.3.1 <i>Ecuaciones de NAVIER-STOKES</i>	26
2.7.4 <i>Análisis microscópico del flujo laminar en un tubo</i>	28
2.7.4.1 <i>Perfil de velocidades (solución de la ecuación de Navier-Stokes)</i>	28

3.	DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO Y DEL EQUIPO LAMINAR JET	
3.1	Diseño del sistema hidráulico.....	33
3.1.1	<i>Datos requeridos para el funcionamiento del chorro laminar</i>	33
3.1.2	<i>Cálculo de la velocidad inicial del chorro laminar</i>	34
3.1.3	<i>Cálculo de la velocidad final del chorro laminar</i>	35
3.1.4	<i>Cálculo de la altura (Y) que alcanza el chorro laminar</i>	35
3.1.5	<i>Cálculo del caudal (Q)</i>	36
3.2	Cálculo y selección de la bomba.....	37
3.2.1	<i>Cálculos de los parámetros faltantes para la selección de la bomba</i>	37
3.2.2	<i>Selección de la bomba</i>	44
3.2.3	<i>Selección del filtro</i>	44
3.3	Diseño y principio de funcionamiento del equipo laminar jet.....	45
3.3.1	<i>Proyección para el diseño del cuerpo del equipo laminar jet</i>	45
3.3.1.1	<i>Problemáticas en el diseño del cuerpo del equipo laminar jet</i>	45
3.3.1.2	<i>Características necesarias del cuerpo del equipo laminar jet</i>	46
3.3.1.3	<i>Diseño del cuerpo del equipo laminar jet</i>	46
3.3.2	<i>Proyección para el diseño de la tobera o boquilla</i>	47
3.3.2.1	<i>Problemáticas en el diseño de la tobera o boquilla</i>	47
3.3.2.2	<i>Características necesarias de la tobera o boquilla</i>	48
3.3.2.3	<i>Diseño de la tobera o boquilla</i>	48
3.3.3	<i>Proyección para el diseño de los discos de malla de acero inoxidable</i>	49
3.3.3.1	<i>Problemáticas en el diseño de los discos de malla de acero inoxidable</i>	49
3.3.3.2	<i>Características necesarias de los discos de malla de acero inoxidable</i>	50
3.3.3.3	<i>Diseño de los discos de malla de acero inoxidable</i>	50
3.3.4	<i>Proyección para el diseño de las tapas superior e inferior del equipo laminar jet.</i> ..	51
3.3.4.1	<i>Problemáticas en el diseño de las tapas superior e inferior del equipo laminar jet.</i>	52
3.3.4.2	<i>Características necesarias de las tapas superior e inferior del equipo laminar jet.</i>	48
3.3.4.3	<i>Diseño de las tapas superior e inferior del equipo laminar jet</i>	53
3.4	Sistema de control de funcionamiento.....	53
3.4.1	<i>Introducción</i>	53
3.4.2	<i>Relé inteligente</i>	54
3.4.2.1	<i>Logo Siemens</i>	54
3.4.3	<i>Características del logo Siemens</i>	55
3.4.4	<i>Modos de funcionamiento del logo Siemens</i>	55
3.4.5	<i>Software de programación del logo Siemens</i>	56
3.4.6	<i>Funciones generales del logo Siemens</i>	56
3.4.7	<i>Funciones especiales del logo Siemens</i>	57
3.5	Tipos de sistemas de iluminación.....	58
3.5.1	<i>Iluminación LEDS</i>	58
3.5.1.1	<i>LED</i>	58
3.5.1.2	<i>LED RGB</i>	58
3.5.1.3	<i>LEDS de alta potencia</i>	59
3.5.1.4	<i>Motor de luz RGB con LED de 45 watts</i>	60
3.5.2	<i>Iluminación por fibra óptica a través de un LED</i>	60
3.5.2.1	<i>Fibra óptica para iluminación</i>	60
4.	CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA	
4.1	Generalidades.....	61
4.2	Actividades previas a la construcción.....	62
4.3	Diagrama de proceso general de construcción.....	63
4.4	Descripción del proceso de construcción de cada elemento del equipo laminar jet..	64
4.4.1	<i>Construcción del cuerpo laminar jet</i>	64
4.4.2	<i>Construcción de los anillos separadores</i>	65
4.4.3	<i>Construcción de los discos de malla inoxidable</i>	66
4.4.4	<i>Construcción de la boquilla o tobera</i>	67

4.4.5	<i>Construcción de las tapas superior e inferior del equipo laminar jet</i>	68
4.5	Ensamble del equipo laminar jet.....	69
4.6	Ensamble del equipo laminar jet - estructura.....	70
4.7	Diseño y ensamble del tablero de control.....	70
4.8	Diagrama del circuito de control.....	70
4.9	Esquema de programación del logo Siemens.....	71
5.	ANÁLISIS DE COSTOS	
5.1	Introducción.....	73
5.2	Costos directos.....	73
5.3	Costos indirectos.....	77
6.	FASE EXPERIMENTAL Y MANUAL DE MANTENIMIENTO	
6.1	Fase experimental.....	78
6.2	Puesta en marcha del equipo.....	78
6.3	Cálculo de la velocidad inicial y final del chorro de agua.....	78
6.3.1	<i>Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 85^\circ$</i>	79
6.3.2	<i>Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 75^\circ$</i>	82
6.3.3	<i>Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 60^\circ$</i>	84
6.3.4	<i>Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 45^\circ$</i>	87
6.3.5	<i>Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 30^\circ$</i>	89
6.3.6	<i>Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 15^\circ$</i>	92
6.4	Manual de mantenimiento.....	96
6.5	Manual de operaciones.....	96
6.6	Instrucciones de mantenimiento y limpieza del equipo laminar jet.....	97
6.7	Guía para prácticas de laboratorio.....	99
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	
7.1	Conclusiones.....	100
7.2	Recomendaciones.....	100

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Unidades de viscosidad dinámica.....	10
2	Unidades de la viscosidad cinemática.....	10
3	Valores de la viscosidad dinámica y cinemática.....	11
4	Coeficientes de resistencia para válvulas y acoplamientos.....	16
5	Factores de fricción.....	16
6	Valores de diseño de la rugosidad de tubos.....	17
7	Ecuaciones empíricas para la determinación del factor f de Darcy.....	18
8	Norma ISO/R 565 para mallas metálicas.....	45
9	Simbología ASME para procesos.....	61
10	Costos de materiales para el equipo laminar jet.....	73
11	Costo de mariales para el sistema de impulsión del agua.....	74
12	Costo de mariales eléctricos, electrónico y de control de funcionamiento.....	75
13	Costo de materiales extra.....	75
14	Costo de mariales.....	76
15	Costo de envío y transporte.....	76
16	Costo de mano de obra.....	76
17	Costos directos.....	77
18	Costos indirectos.....	77
19	Costo total del equipo.....	77
20	Datos obtenidos experimentalmente.....	95
21	Datos Lumiartecnia Internacional.....	95

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Pileta del parque Guayaquil de la ciudad de Riobamba.....	5
2	Chorro perfecto o laminar.....	5
3	Arco iris / chorro de cristal.....	6
4	Starburst laminar jet.....	6
5	Jumping jet - laminar flow.....	7
6	Surtidor diamante.....	7
7	Corriente de tinta en un flujo laminar.....	8
8	Corriente de tinta en un flujo turbulento.....	9
9	Tubo de flujo con área de sección transversal cambiante.....	13
10	Tubo de áreas de sección transversal y alturas distintas.....	14
11	Diagrama de Moody.....	17
12	Trayectoria del movimiento parabólico.....	20
13	Alcance horizontal R y altura máxima h.....	22
14	Flujo desarrollado en un tubo circular.....	28
15	Ilustración y datos de una fuente de un sólo chorro de agua.....	33
16	Condiciones requeridas del laminar jet.....	34
17	Puntos de funcionamiento.....	37
18	Cálculo de f mediante el diagrama de Moody.....	45
19	Disposición y dimensiones del cuerpo laminar jet.....	47
20	Disposición y dimensiones de la boquilla.....	49
21	Disposición y dimensiones de los discos de malla inoxidable.....	51
22	Disposición y dimensiones de las tapas superior e inferior.....	53
23	Relé inteligente logo Siemens.....	54
24	Funciones básicas del logo Siemens.....	56
25	Funciones especiales del logo Siemens.....	57
26	LED.....	58
27	LED RGB (rojo, verde, azul).....	59
28	LED de alta potencia.....	59
29	Motor de luz RGB con LED de 45 watts.....	60
30	Fibra óptica.....	60
31	Cuerpo laminar jet.....	64
32	Anillos separadores.....	65
33	Discos de malla inoxidable.....	66
34	Boquilla.....	67
35	Tapas superior e inferior.....	68
36	Ensamblaje del equipo laminar jet.....	69
37	Ensamblaje del equipo laminar jet - estructura.....	70
38	Diagrama del circuito de control.....	71
39	Esquema de programación del logo Siemens.....	72
40	Sistema de ejes de referencia empleado en las ecuaciones de la trayectoria parabólica de un chorro.....	79
41	Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 85^\circ$	80
42	Comparación de resultados y forma de la trayectoria del chorro laminar con un ángulo de posición de 85°	82
43	Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 75^\circ$	82
44	Comparación de resultados y forma de la trayectoria del chorro laminar con un ángulo de posición de 75°	84

45	Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 60^\circ$	85
46	Comparación de resultados y forma de la trayectoria del chorro laminar con un ángulo de posición de 60°	86
47	Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 45^\circ$	87
48	Comparación de resultados y forma de la trayectoria del chorro laminar con un ángulo de posición de 45°	89
49	Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 30^\circ$	89
50	Comparación de resultados y forma de la trayectoria del chorro laminar con un ángulo de posición de 30°	91
51	Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 15^\circ$	92
52	Comparación de resultados y forma de la trayectoria del chorro laminar con un ángulo de posición de 15°	94
53	Especificación de cada pieza del equipo.....	99

SIMBOLOGÍA

μ	Viscosidad dinámica.	kg/m.s
ν	Viscosidad cinemática.	m ² /seg
γ	Peso específico.	N/m ³
ρ	Densidad.	kg/m ³
g	Gravedad.	m/seg ²
Re	Número de Reynolds.	
v	Velocidad.	m/s
D	Diámetro.	m
Q	Caudal.	m ³ /s
h_L	Pérdidas de energía hidráulica.	m.c.a.
h_f	Pérdidas por longitud de tubería.	m.c.a.
E	Rugosidad interior.	Mm
h_l	Pérdidas de energía en los accesorios.	m.c.a.
$\sum h_l$	Sumatoria de Pérdidas de carga en accesorios.	m.c.a.
f	Factor de fricción de Darcy- Weisbach.	
K	Coeficiente de Pérdidas.	
$\left(\frac{L_e}{D}\right)$	Longitud equivalente en diámetros de tubería.	
f_T	Factor de fricción en la tubería.	
τ	Esfuerzo cortante.	N/m ²
α_0	Ángulo de inclinación.	
P	Potencia.	Watts
η	Eficiencia.	

LISTA DE ABREVIACIONES

PWM	Modulación de ancho de pulso.
RGB	Red, green, blue.
PVC	Policloruro de vinilo.
ISO/R565	Norma para retención de impurezas en un determinado tamaño, funcionamiento e inspección de filtros.
LCD	Pantalla de cristal líquido.
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional.

LISTA DE ANEXOS

- A** Datos técnicos y tareas de mantenimiento.
- B** Guía de laboratorio.

RESUMEN

El diseño y construcción de un sistema de generación de chorro de agua de flujo laminar iluminado con un equipo de control para su funcionamiento, tiene como finalidad desarrollar destrezas y capacidades en el laboratorio de fluidos cuando se realicen prácticas de variación de caudal para obtener diferentes alturas y alcances. Conocimiento que abre posibilidades y proyectos en el área de ornamentación relacionados a mayor potencia en chorros de flujo laminar que pueden ser utilizados de manera creativa en parques piscinas o piletas.

El estudio inicia con la determinación de las ecuaciones de cantidad de movimiento, balance de energía y movimiento parabólico que sirvieron para el cálculo hidráulico y selección de la bomba de caudal que suministra 108 litros por minuto, fuerza que deberá vencer todas las caídas de presión generadas desde la descarga de la bomba hasta la boquilla del equipo generador de flujo laminar; así mismo se realizó el análisis microscópico de flujo laminar en tuberías que conlleva al análisis del Perfil de Velocidades dentro del dispositivo laminar jet mediante la solución de las ecuaciones de Navier-Stokes.

Durante la construcción del equipo generador de flujo laminar se ensamblaron componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, donde una vez terminado se sometió a las pruebas de altura y alcance con éxito consiguiendo el objetivo de obtener un chorro de flujo de agua laminar perfecto de perfil parabólico con un ángulo de inclinación del equipo de 45° , y una altura de 0,56m y un alcance 1,7m. Estos datos corroboran con los cálculos teóricos realizados.

El equipo combina la tecnología óptica con chorros de flujo laminar para mostrar un espectáculo de luz. Mediante la modulación de ancho de pulso (PWM), se puede cambiar el color de las luces LED instaladas en el motor de luz que iluminarán el agua con secuencias de luces elegidos por control remoto o directamente mediante la aplicación de una señal que notifica al relé inteligente para activar la secuencia y gamas de color, el mismo que se utiliza para la integración completa del sistema generador de flujo laminar. Se recomienda utilizar el equipo previo a la capacitación que describe manual de mantenimiento.

ABSTRACT

The construction and design of a generating system of lit laminar flow jets with control equipment for its performance, aims to develop skills and abilities in the fluid lab by the time practices of flow variation are done for obtaining different heights and scope. Knowledge that opens possibilities and projects in the ornamentation area related to high power in laminar flow jets that can be used creatively in parks or swimming pools.

The study begins with the determination of equations of movement quantity, energy balance and parabolic trajectory that were used to hydraulic calculation and selection of the flow pump that supplies 108 liters per minute, force that must overcome all falls of pressure generated from the pump discharge to the nozzle of the laminar flow generating equipment; likewise the microscopic analysis of laminar flow was done in pipes that lead to the analysis of the velocities profile inside the laminar jet device through the solution of the Navier-Stokes equations.

During the construction of the laminar flow generating equipment, it was assembled mechanical, electrical and electronic components, by the time it was completed, it was tried out to height and reach tests by getting successfully a perfect laminar flow jet of parabolic profile with an angle of declination of the equipment of 45° , and a height of 0,56m and a range of up to 1, 7 m. These data corroborate with the done theoretical calculations.

The equipment combines optical technology with laminar flow jets to display a light show. By means of the pulse width modulation (PWM), it is possible to change the color of LED lights installed in the engine of light to illuminate the water with light sequences selected by remote control or directly through the application of a signal that notifies to smart relay to activate the sequence and color range, the same one that uses for the complete integration of laminar flow generating system. It is recommended to use the pre-training equipment that describes the maintenance manual.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento del hombre de la hidráulica y mecánica de fluidos siempre se ha aplicado para resolver problemas prácticos asociados con el transporte, almacenamiento de líquidos, la producción de energía y el control de las inundaciones por nombrar sólo algunos. El hombre también ha aplicado los principios de la hidráulica para mejorar su mundo en forma de fuentes y piscinas, pero esta aplicación tiene caída en la altura de su potencial, hay muchos fenómenos fascinantes de fluidos, que se entiende y se utiliza en un sentido práctico, pero que casi nunca se aplicó para dar variedad al diseño de una fuente.

Diseños de fuentes en los géneros basados en el principio de un flujo turbulento, que esto en verdad es evidente por el hecho de que la mayoría de las fuentes de hidromasajes de agua caen en el aire en varias configuraciones, como el hacer pasar agua hacia abajo sobre las rocas o bloques de hormigón, en cascadas simuladas o disparar agua en contra o goteo en diferentes formas. También se puede lograr una variedad de efectos visuales en lugar de sólo salpicar y rociar. Uno de estos efectos es posible crear corrientes de flujo laminar sin problemas, sin que se rompa en gotas y sin salpicaduras o rociado. Este fenómeno de flujo laminar es debido al hecho de que las partículas de agua siguen trayectorias paralelas, mientras que las partículas de agua en flujo turbulento se cruzan constantemente y se produce una gran cantidad de mezcla.

1.1 Antecedentes

En la actualidad los parques son lugares donde las personas acuden constantemente en sus tiempos libres en busca de entretenimiento y distracción, pero hoy en día dichos sitios no presentan nada novedoso para la atracción de las personas, como es el caso del Parque Infantil y otros parques que no cuentan con nuevos recursos para la recreación de las personas, es por eso que se propone el desarrollo de un sistema de generación de chorro perfecto iluminado de agua con un sistema de control para su funcionamiento.

Así con este equipo se logrará realzar y mejorar la apariencia de piletas de parques, jardines de viviendas, piscinas, hoteles, eventos sociales viendo desde el punto de vista ornamental.

En la actualidad existen varias empresas que realizan este tipo de equipos con costos que van desde los 1500 a 3000 dólares dependiendo del tipo de material y su acabado, los principales proveedores de estos equipos se encuentran en Europa y Asia.

1.2 Justificación

Con el fin de adaptar nuevas tecnologías para la recreación del ser humano, este equipo puede ser instalado en cualquier sitio recreativo como pueden ser en eventos sociales, spas, jardines de viviendas, etc. Hoy en día las personas se esfuerzan por mejorar la parte estética del exterior de sus hogares reflejando sus gustos personales, expresando su individualidad y gracias a este equipo podrán aumentar el atractivo estético de los jardines de sus hogares. Por otra parte también permite incorporar distintos aspectos de la ingeniería electromecánica y al mismo tiempo conservar un proyecto de diseño individual y único.

Con respecto a la utilidad que se le puede dar a nivel de laboratorio, se considera la realización de investigaciones y prácticas de laboratorio sobre:

- Velocidad inicial y final del chorro de agua.
- Altura máxima del chorro de agua variando el ángulo de posición.
- Distancia máxima del chorro de agua variando el ángulo de posición.
- Análisis de la variación del ángulo del dispositivo y el efecto que causa en la velocidad del chorro.
- Análisis de la obtención del flujo laminar.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Diseñar y construir un sistema de generación de chorro de agua de flujo laminar iluminado con un equipo de control para su funcionamiento.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Descripción del estado actual de los chorro de la pileta del parque Guayaquil y alternativas de generación.

Realizar el diseño e instalación del sistema hidráulico.

Realizar el diseño y construcción del equipo laminar jet .

Diseñar y programar un sistema de control para el funcionamiento del equipo laminar jet.

Elaborar un manual de instalación y mantenimiento para el equipo laminar jet.

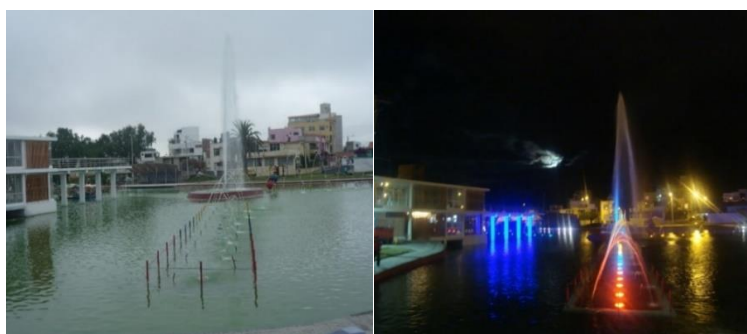
CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Ornamentación y estado actual de los chorros de la pileta del parque Guayaquil

Entre los muchos atractivos que tiene Riobamba, sultana de los andes, se encuentra variados parques que contribuyen con el paisaje y el esparcimiento de sus habitantes y visitantes. El Parque más visitado por los riobambeños es el "Guayaquil". El parque está ubicado en el sector centro norte y es uno de los más grandes de la urbe, en su interior se encuentra una gran pileta iluminada en la cual están instalados sistemas generadores de chorros de agua, los cuales no son laminares, los mismos que son de flujo turbulento generados por una boquilla e impulsados por una bomba de agua, estos chorros siguen una trayectoria parabólica y alcanzan una altura determinada según el ángulo de instalación, el sistema generador de este tipo de chorro es una boquilla denominada de lanza, también en el centro de la pileta se encuentra un tipo de chorro turbulento denominado de pulverización que genera un tipo de chorro de agua pulverizada o nebulizada (ver Figura 1), en este parque se dan cita a diario los riobambeños por la gran atracción de sus juegos infantiles para la distracción de los niños y la pileta con sus chorros de agua para la admiración de los adultos, cabe recalcar que si se instalaren dispositivos generadores de chorros laminares iluminados que se podría apreciar durante la noche el chorro de agua iluminado como si fuese un tubo de cristal.

Figura 1. Pileta del parque Guayaquil de la ciudad de Riobamba

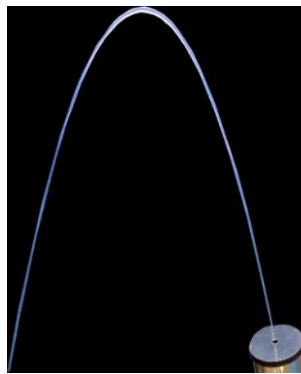


Fuente: Autores

2.2 Chorro perfecto o laminar

2.2.1 Definición. Se define como chorro perfecto o laminar al hecho de que las partículas de agua siguen trayectorias paralelas sin que se rompan en gotas y sin salpicaduras o rociado (ver Figura 2). Es un chorro que tiene una forma muy particular en su forma, ya que toma efecto de un tubo de cristal en toda su trayectoria, es utilizado para embellecer fuentes ornamentales en parques, jardines de viviendas, spas, piscinas o en cualquier evento social.

Figura 2. Chorro perfecto o laminar



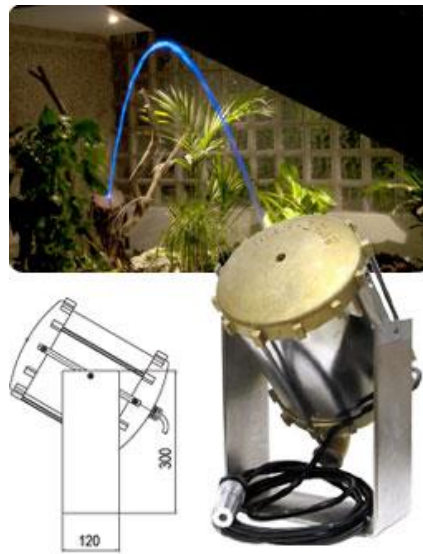
Fuente. <http://www.universalfountain.in/jetwater.html>

Las características que condicionan el flujo laminar dependen de las propiedades del líquido y de las dimensiones del flujo, conforme aumenta el flujo másico aumenta las fuerzas del momento o inercia, las cuales son contrarrestadas por la fricción o fuerzas viscosas dentro del líquido que fluye. Cuando estas fuerzas opuestas alcanzan un cierto equilibrio se producen cambios en las características del flujo.

2.2 Tipos de generadores de agua de flujo laminar

2.2.1 Generadores Safe-Rain (arco iris / chorro de cristal). El arco iris es un chorro de agua laminar diseñado para tener un requerimiento mínimo de instalación e infraestructura, emite un chorro de agua continuo e iluminado, conduciendo la luz por todo su recorrido, y proyectando la luz sobre la superficie con la que choca. El chorro de agua se ilumina gracias a una fuente de luz que dispone de una lente de ocho colores que va cambiando secuencialmente. La luz se conduce gracias a un cable de fibra óptica. Su forma y componentes internos de funcionamiento son circulares (ver Figura 3).

Figura 3. Arco iris / chorro de cristal



Fuente: <http://www.saferain.com/en/fountain-equipment/fountain-kits/rainbow-laminar-jet.html>

2.3.2 Generadores Aqua Clear (starburst laminar jet). La fuente de cristal starburst laminar jet es un equipo de alta tecnología, el agua está tan bien controlada que crea una barra continua de cristal de agua.

El Starburst laminar jet está diseñado de una forma muy diferente al laminar jet anterior su forma geométrica se parece a la de un trapecio (ver Figura 4). El Starburst laminar jet también viene acompañado de una fuente de luz LED que ilumina el chorro cristalino desde el inicio hasta el final del chorro gracias a la tecnología de transportación de luz por fibra óptica.

Figura 4. Starburst laminar jet



Fuente: <http://www.aquaclear.co.nz/series-starburst-laminar-p-298.html>

2.3.3 *Generadores OASE Rainbow Star (jumping jet - laminar flow).* Los sistemas jumping jet son la atracción en los parques de ocio y parques de diversiones, en las ferias, exposiciones y otros eventos, en una escala menor, que puede ser el punto focal para los proyectos de paisajismo al aire libre y juegos de agua interiores. La nueva generación de la estrella del arco iris OASE combina funcionalidad, la libertad creativa ilimitada, y un diseño único de forma cónica, las posibilidades de combinación dan el sistema de un toque individual. La luz integrada RGB se puede seleccionar libremente y se puede apoyar en su efecto por numerosas funciones de luz de funcionamiento conmutables.

Figura 5. Jumping jet - laminar flow



Fuente: http://www.coastalpond.com/index.php?main_page=product_info&products_id=1608

2.3.4 *Generadores Lumiartecnia Internacional (surtidor diamante).* Este equipo laminar es de más alta calidad en el mercado, fabricado totalmente en acero inoxidable con un diseño en forma de diamante muy elegante, el surtidor puede ser iluminado con luces RGB emplazadas en el interior para iluminar perfectamente el surtidor laminar.

Figura 6. Surtidor diamante



Fuente: http://www.lumiartecnia.com/?page_id=790

2.4 Efectos del viento en un chorro de agua

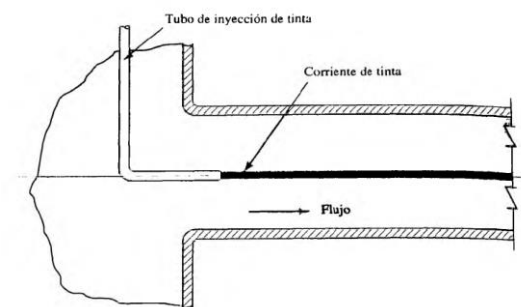
El viento puede provocar efectos no deseados en una fuente ornamental, como ejemplo que se salga el agua de la pileta ocasionando salpicaduras, sobre todo en chorros de agua de gran altura y alcance, es por eso que fuentes de chorros de agua laminar no se deben instalar en lugares de excesivo viento, y si hay el caso en el que se instale una fuente de chorro de agua laminar en uno de estos lugares, se debe adicionar la instalación de un dispositivo de medición del viento como puede ser un anemómetro junto con un sensor, que al funcionar los dos dispositivos en conjunto se puede reducir altura del chorro o parada total de la fuente de agua dependiendo de la velocidad del viento.

2.5 Definiciones básicas de la hidráulica

2.5.1 Flujo laminar. Robert Mott menciona que es uno de los dos tipos principales de flujo en la mecánica de fluidos o hidráulica. En un flujo laminar el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente, en flujos laminares el mecanismo de transporte lateral es exclusivamente molecular, el flujo laminar es típico de fluidos a velocidades bajas o viscosidades altas, mientras fluidos de viscosidad baja, velocidad alta o grandes caudales suelen ser turbulentos.

En la Figura 7, se observa una manera de visualizar el flujo laminar, en la imagen se encuentra un fluido transparente, como el agua, que fluye en un tubo de vidrio claro, cuando una corriente de fluido oscuro, como la tinta, se inyecta en el fluido, la corriente permanece intacta mientras se mantenga el régimen laminar.

Figura 7. Corriente de tinta en un flujo laminar

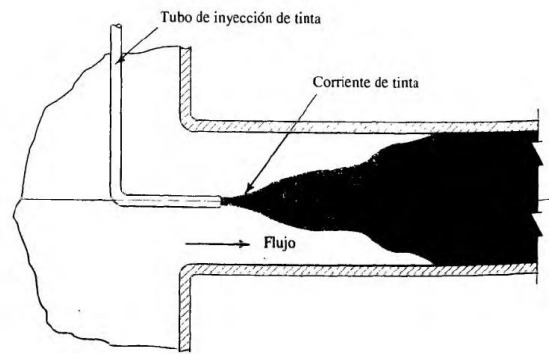


Fuente: MOTT Robert. Mecánica de Fluidos Aplicada. p. 228

2.5.2 Flujo turbulento. Se llama flujo turbulento o corriente turbulenta al movimiento de un fluido que se da en forma caótica, en que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos aperiódicos, (no coordinados) como por ejemplo el agua en un canal de gran pendiente.

Debido a esto, la trayectoria de una partícula se puede predecir hasta una cierta escala, a partir de la cual la trayectoria de la misma es impredecible, más precisamente caótica (ver en la Figura 8).

Figura 8. Corriente de tinta en un flujo turbulento



Fuente: MOTT Robert. Mecánica de Fluidos Aplicada. p. 229

2.5.3 Viscosidad. La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales, un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal.

En realidad todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones. La viscosidad sólo se manifiesta en líquidos en movimiento.

2.5.3.1 Viscosidad dinámica. Se llama viscosidad dinámica o simplemente viscosidad (μ) de un fluido a la resistencia que éste opone a su deformación, o dicho de otro modo, a que las láminas de fluido se deslicen entre sus inmediatas.

En la Tabla 1, se muestra las unidades para la viscosidad dinámica en los tres sistemas más empleados.

Tabla 1. Unidades de la viscosidad dinámica

Sistema de unidades	Unidades para la viscosidad dinámica
Sistema Internacional (SI)	$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$, $\text{Pa}\cdot\text{s}$ o $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$
Sistema Tradicional de Estados Unidos	$\text{lb}\cdot\text{s}/\text{pie}^2$ o $\text{slug}/(\text{pie}\cdot\text{s})$
Sistema cgs (obsoleto)	$\text{poise} = \text{dina}\cdot\text{s}/\text{cm}^2 = \text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}) = 0.1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ $\text{centipoise} = \text{poise}/100 = 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 1.0 \text{ mPa}\cdot\text{s}$

Fuente: MOTT Robert. Mecánica de Fluidos Aplicada. p. 28

2.5.3.2 Viscosidad cinemática. La viscosidad cinemática es la relación que existe entre la viscosidad dinámica y la densidad de un fluido. Esta suele denotarse con la letra griega ν .

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{\gamma} \quad (1)$$

Siendo γ el peso específico del líquido ($\rho * g$).

En la Tabla 2, se muestra las unidades para la viscosidad cinemática en los tres sistemas más empleados.

Tabla 2. Unidades de la viscosidad cinemática

Sistema de unidades	Unidades de la viscosidad cinemática
Sistema Internacional (SI)	m^2/s
Sistema Tradicional de Estados Unidos	pie^2/s
Sistema cgs (obsoleto)	$\text{stoke} = \text{cm}^2/\text{s} = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ $\text{centistoke} = \text{stoke}/100 = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$

Fuente: MOTT Robert. Mecánica de Fluidos Aplicada. p. 29

El valor de la viscosidad es función de la temperatura, de forma que si aumenta la temperatura disminuye la viscosidad. La Tabla 3, muestra el valor de la viscosidad dinámica y cinemática del agua a diferentes temperaturas.

Tabla 3. Valores de la viscosidad dinámica y cinemática

Temperatura C°	Viscosidad dinámica μ kg/m.s	Viscosidad cinemática ν m²/seg
5	$1,518 \times 10^{-3}$	$1,520 \times 10^{-6}$
10	$1,307 \times 10^{-3}$	$1,308 \times 10^{-6}$
15	$1,139 \times 10^{-3}$	$1,142 \times 10^{-6}$
20	$1,102 \times 10^{-3}$	$1,007 \times 10^{-6}$
25	$0,890 \times 10^{-3}$	$0,897 \times 10^{-6}$
30	$0,708 \times 10^{-3}$	$0,804 \times 10^{-6}$
35	$0,653 \times 10^{-3}$	$0,727 \times 10^{-6}$
40	$0,653 \times 10^{-3}$	$0,661 \times 10^{-6}$

Fuente: <http://www.miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Aguas/PropiedadesFisicasAguas.htm>

2.5.4 Número de Reynolds. El número de Reynolds es uno de varios números adimensionales, útiles en el estudio de la mecánica de fluidos y la transferencia de calor. El número de Reynolds es la relación de la fuerza de inercia sobre un elemento de fluido a la fuerza viscosa.

La fuerza de inercia se desarrolla a partir de la segunda ley de movimiento de Newton $F = ma$. Los flujos tienen números de Reynolds grandes debido a una velocidad elevada y/o una viscosidad baja, y tienden a ser turbulentos, aquellos fluidos con viscosidad alta y que se mueven a velocidades bajas, tendrán números de Reynolds bajos y tenderán a comportarse en forma laminar.

La fórmula para el número de Reynolds adopta una forma diferente para secciones transversales que no sean circulares, canales abiertos y el flujo alrededor de cuerpos sumergidos.

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu} = \frac{vD}{\nu} \rightarrow \nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2)$$

Dónde:

Re = Numero de Reynolds, adimensional

v = Velocidad promedio del flujo, en m/s

D = Diámetro del tubo, en m

ρ = Densidad del fluido, en kg/m^3 o $N \cdot s^2/m^4$

μ = Viscosidad dinámica del fluido, en $N \cdot s/m^2$ o $Pa \cdot s$ o $kg/m \cdot s$

Si $Re \uparrow \uparrow$ El flujo tiende a ser turbulento (debido a altas velocidades o bajas viscosidades).

Si $Re \downarrow \downarrow$ El flujo tiende a ser laminar (debido a altas viscosidades o bajas densidades).

2.5.4.1 *Números críticos de Reynolds.* Para flujo en conductos, el número de Reynolds adopta la expresión anterior.

Normalmente se trabaja con los siguientes rangos:

Si $Re \leq 2000$ Es un flujo LAMINAR.

Si $Re \geq 4000$ Es un flujo TURBULENTO.

Si $2000 < Re < 4000$ Región CRÍTICA (no es posible predecir el régimen del flujo).

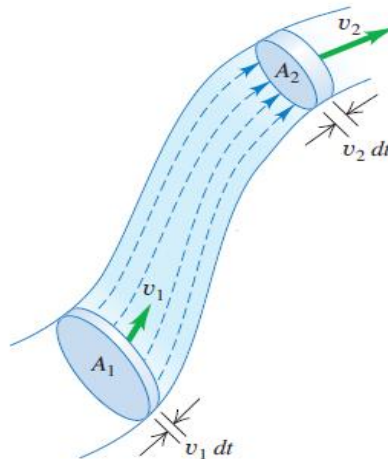
2.5.5 *Presión.* La presión se define como la cantidad de fuerza ejercida sobre una cantidad de área de una sustancia o una superficie, Se mide en pascuales (SI), siendo $1 Pa = 1 N/m^2$ y se enuncia por medio de la ecuación: (MOTT, 2006).

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

2.5.6 *Hidrodinámica.* Hugh Young y Roger Freedman indican que cuando el fluido está en movimiento, su flujo se caracteriza como uno de dos tipos principales, se dice que el fluido es estable o laminar, si cada partícula del fluido sigue una trayectoria uniforme de tal modo que las trayectorias de diferentes partículas nunca se cruzan unas con otras y todas las partículas de fluido que llegan a un punto dado tienen la misma velocidad. Y se dice que es turbulento cuando todas sus partículas se dispersan en su trayectoria.

2.5.6.1 La Ecuación de continuidad. La masa de un fluido en movimiento no cambia al fluir. Esto conduce a una relación cuantitativa importante llamada ecuación de continuidad. Se considera una porción de un tubo de flujo entre dos secciones transversales estacionarias con áreas A_1 y A_2 (ver Figura 9).

Figura 9. Tubo de flujo con área de sección transversal cambiante



Fuente: SEARS Zemanski. Física Universitaria p. 467

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (\text{Ecuación de la continuidad}) \quad (4)$$

Dónde:

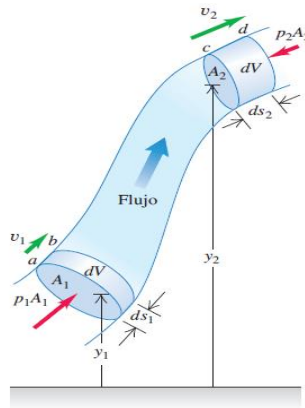
A_1 y A_2 = Son las áreas de las secciones transversales de la tubería.

v_1 y v_2 = Son las velocidades de las secciones respectivamente.

2.5.6.2 Ecuación de Bernoulli. Cuando una pequeña muestra de fluido fluye por un tubo y entra en una zona más estrecha, gana velocidad porque la presión que lo empuja de detrás hacia adelante es mayor que la presión que desde el frente se opone al movimiento, la ecuación de Bernoulli relaciona la presión, elevación y velocidad de un fluido incompresible en flujo estacionario y resulta de las leyes de Newton se deduce muy fácilmente aplicando el teorema de trabajo-energía a una porción del fluido.

Se considera un fluido que circula por una tubería cuya altura y sección van variando (ver Figura 10).

Figura 10. Tubo de áreas de sección transversal y alturas distintas



Fuente: SEARS Zemanski. Física Universitaria p. 468

$$p_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (\text{Ecuación de Bernoulli}) \quad (5)$$

Dónde:

p_1 y p_2 = Son las presiones en el punto 1 y 2.

y_1 y y_2 = Son las alturas a las que se encuentran cada sección.

ρ = Densidad del fluido

g = Gravedad ($9,8 \text{ (m/s}^2\text{)}$)

De la ecuación de Bernoulli se deriva la ecuación de la energía para fluidos.

$$p_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_L \quad (\text{Ecuación de la energía}) \quad (6)$$

Dónde:

h_L = Pérdidas de energía hidráulica. (YOUNG, 2009).

2.5.6.3 Pérdidas de energía hidráulica (h_L). Robert Mott, indica que el flujo del agua a lo largo de una tubería y a través de codos, válvulas, etcétera produce Pérdidas de energía por las resistencias al movimiento.

$$h_L = h_f + \sum h_l \quad (\text{Ecuación de Pérdidas de carga}) \quad (7)$$

Dónde:

h_f = Pérdidas de carga en tramos rectos de tubería.

$\sum h_l$ = Sumatoria de Pérdidas de carga en accesorios.

Las Pérdidas de carga en un tramo recto de una tubería se calculan mediante la expresión, de la ecuación de Darcy- Weisbach:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

Dónde:

f = Factor de fricción de Darcy- Weisbach, adimensional.

L = Longitud del tramo recto de tubería.

D = Diámetro interior de la tubería.

v = Velocidad del flujo.

Las Pérdidas de carga en cada accesorio de una tubería se calculan según la expresión:

$$h_l = K_{accesorio} \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Pérdidas de carga}) \quad (9)$$

Dónde:

$K_{accesorio}$ = Coeficiente que depende del tipo de accesorio: codo 90°, codo 45°, válvula, etcétera.

$$K = \left(\frac{L_e}{D} \right) f_T \quad (\text{Coeficiente de accesorio}) \quad (10)$$

Dónde:

$\left(\frac{L_e}{D} \right)$ = Longitud equivalente en diámetros de tubería, adimensional, (tabulado en tablas).

f_T = Factor de fricción en la tubería, (tabulado en tablas).

En la Tabla 4, se muestra los diferentes factores de fricción en la zona de turbulencia completa para tuberías de acero comercial, nuevas y limpias.

Tabla 4. Factores de fricción

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_T	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción f_T
1/2	0.027	3 1/2, 4	0.017
3/4	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1 1/4	0.022	8-10	0.014
1 1/2	0.021	12-16	0.013
2	0.019	18-24	0.012
2 1/2, 3	0.018		

Fuente: MOTT Robert. Mecánica de Fluidos Aplicada p. 297

En la Tabla 5, se muestra las diferentes resistencias de válvulas y acoplamientos, expresadas como longitud equivalente en diámetros de tubería y posteriormente remplazar para encontrar el coeficiente que depende del tipo de accesorio.

Tabla 5. Coeficientes de resistencia para válvulas y acoplamientos

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D	Válvulas (abiertas)	Coeficiente de pérdida, K
Válvula de globo—abierta por completo	340	De bola	$K = 0,1$
Válvula de ángulo—abierta por completo	150	Compuerta	$K = 0,1 - 0,3$
Válvula de compuerta—abierta por completo	8	Anti-retorno	$K = 1,0$
—3/4 abierta	35	De asiento estándar. Asiento de fundición	$K = 4,0 - 10,0$
—1/2 abierta	160	De asiento estándar. Asiento de forja (pequeña)	$K = 5,0 - 13,0$
—1/4 abierta	900	De asiento a 45°. Asiento de fundición	$K = 1,0 - 3,0$
Válvula de verificación—tipo giratorio	100	De asiento en ángulo. Asiento de fundición	$K = 2,0 - 5,0$
Válvula de verificación—tipo bola	150	De asiento en ángulo. Asiento de forja (pequeña)	$K = 1,5 - 3,0$
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45	Mariposa	$K = 0,2 - 1,5$
—10 a 14 pulg	35	Diafragma	$K = 2,0 - 3,5$
—16 a 24 pulg	25	De macho o tapón. Rectangular	$K = 0,3 - 0,5$
Válvula de pie—tipo disco de vástago	420	De macho o tapón. Circular	$K = 0,2 - 0,3$
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75	Otros elementos	Coeficiente de pérdida, K
Codo estándar a 90°	30	Codos a 90°	$K = 0,2$
Codo a 90° de radio largo	20	Filtros	$K = 3,0$
Codo roscado a 90°	50	Derivación	$K = 0,7$
Codo estándar a 45°	16		
Codo roscado a 45°	26		
Vuelta cerrada en retorno	50		
Te estándar—con flujo directo	20		
—con flujo en el ramal	60		

Fuente: MOTT Robert. Mecánica de Fluidos Aplicada p. 297

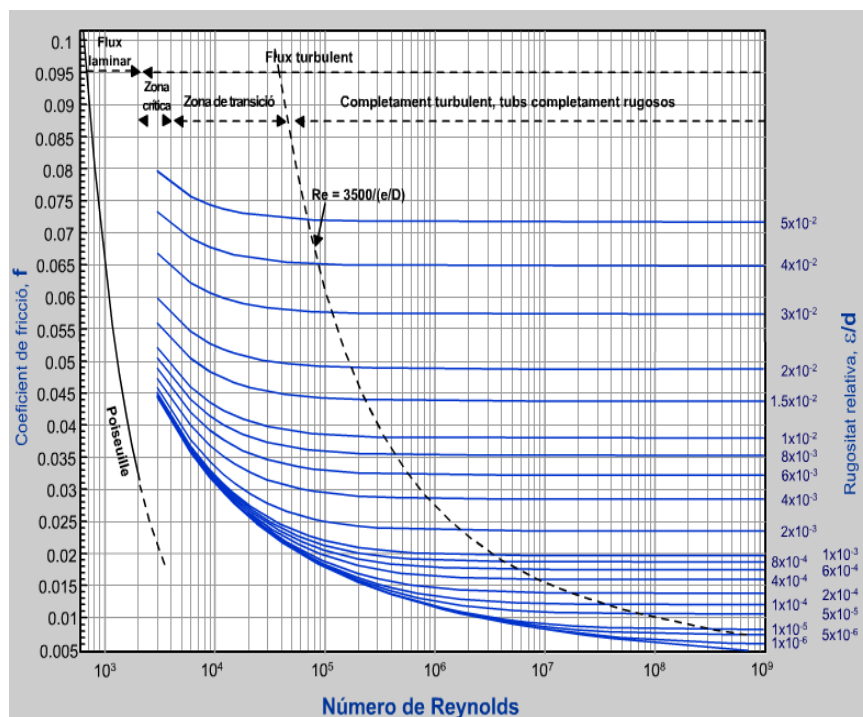
Para tubos de otros materiales se debe determinar la rugosidad (ϵ) tabulada en la Tabla 6, calcular ϵ/D y emplear el diagrama de Moody, Figura 11, para determinar el factor de fricción en la zona de turbulencia completa.

Tabla 6. Valores de diseño de la rugosidad de tubos

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	ϵ (mm)	Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrífuga	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Fuente: <http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PérdidaCarga.asp>

Figura 11. Diagrama de Moody



Fuente: <http://mie.esab.upc.es/df/fluids/moody.htm>

El valor del factor de fricción de Darcy, y la ecuación utilizada para su cálculo, depende del régimen de flujo, si es laminar o turbulento. En régimen laminar la expresión general desarrollada es la siguiente:

$$f = \frac{A}{Re} \quad (\text{Factor de fricción para flujo laminar}) \quad (11)$$

Dónde:

A : Es una constante que depende de la forma geométrica de la sección transversal del conducto, que para el caso de conductos cilíndricos $A = 64$.

Re : Es el número adimensional de Reynolds. (MOTT, 2006).

En la Tabla 7, se presenta las diferentes ecuaciones empíricas para la determinación del factor f de Darcy, y sus rangos de aplicación para el régimen turbulento, estas fórmulas serán utilizadas para el análisis a la salida del flujo de la bomba y en los tramos de tubería hasta llegar al dispositivo laminar jet.

Tabla 7. Ecuaciones empíricas para la determinación del factor f de Darcy

Ecuación	Autor y referencias	Rango de validez
$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7(D/\varepsilon)} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$	Swamee y Jain, 2002	$100 \leq \frac{D}{\varepsilon}$ $\leq 10^6$ $5000 \leq Re$ $\leq 10^8$
$f = 1,325 * \left[\ln \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^{-2}$	Streeter, 2000	$0,01 \leq \frac{\varepsilon}{D}$ $\leq 10^{-6}$ $5000 \leq Re$ $\leq 10^8$
$\frac{1}{\sqrt{f}} = \left[-2 * \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right) \right]^{-2}$	Pavlov et al, 1981	$0,01 \leq \frac{\varepsilon}{D}$ $\leq 10^{-6}$ $5000 \leq Re$ $\leq 10^8$

Fuente: <http://www.miliarium.com/Prontuario/MedioAmbiente/Aguas/PérdidaCarga.asp>

2.6 Movimiento parabólico (trayectoria del chorro laminar)

2.6.1 Definición. Hugh Young y Roger Freedman indican que el movimiento parabólico de cualquier cuerpo es cuando recibe una velocidad inicial y luego sigue una trayectoria determinada totalmente por los efectos de la aceleración gravitacional y la resistencia del aire.

2.6.2 Análisis del movimiento parabólico. Para el análisis del movimiento parabólico se puede tratar por separado las coordenadas x e y . La componente a_x de la aceleración es cero, y la componente a_y es constante e igual a $a_y = -g$. (Por definición, g siempre es positiva, pero por las direcciones de coordenadas elegidas, a_y es negativa.).

Así, se puede analizar el movimiento parabólico de cualquier cuerpo como una combinación de movimiento horizontal con velocidad constante y movimiento vertical con aceleración constante.

Dado que las aceleraciones x e y son constantes, se puede usar las ecuaciones del movimiento con aceleración constante directamente.

Para el movimiento en x :

$$v_x = v_{0x} \quad (12)$$

$$x = x_0 + v_{0x}t \quad (13)$$

Para el movimiento en y solo se aumenta la aceleración $a_y = -g$ y se cambia la letra x por y .

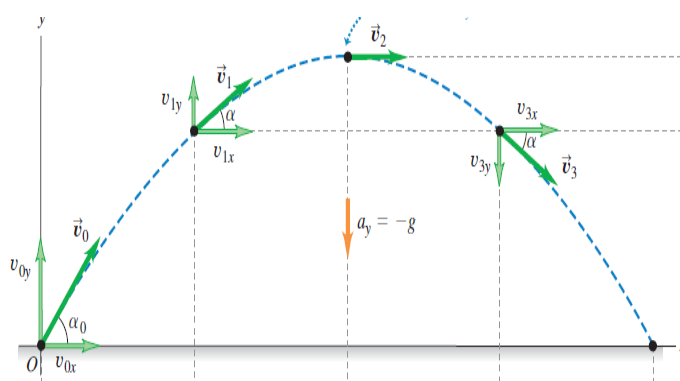
$$v_y = v_{0y} - gt \quad (14)$$

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (15)$$

Por lo general, lo más sencillo es tomar la posición inicial (en $t = 0$) como origen. Así, $x_0 = y_0 = 0$ este punto podría ser la posición de una pelota cuando sale de la mano del lanzador, o la posición de una bala cuando sale del canon de un arma.

La Figura 12, muestra la trayectoria de un proyectil que parte del origen en el tiempo $t = 0$. La posición, la velocidad, las componentes de velocidad y aceleración se muestran en una serie de instantes equiespaciados. La componente x de la aceleración es 0, así que v_x es constante. La componente y de la aceleración es constante pero no cero, así que v_y cambia en cantidades iguales a intervalos de tiempo iguales, justo igual que si el proyectil fuera lanzado verticalmente con la misma velocidad y inicial. En el punto más alto de la trayectoria, $v_y = 0$.

Figura 12. Trayectoria de un proyectil



Fuente: SEARS Zemanski. Física Universitaria p. 80

Entonces partiendo de la posición inicial se tiene:

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha_0 \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha_0 \quad (16)$$

Al reemplazar las ecuaciones (16) en las ecuaciones (12), (13), (14) y (15) y haciendo que $x_0 = y_0 = 0$, se obtiene lo siguiente:

$$x = (v_0 \cos \alpha_0)t \quad (17)$$

$$y = (v_0 \sin \alpha_0)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (18)$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha_0 \quad (19)$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha_0 + gt \quad (20)$$

2.6.3 Velocidad inicial y final del movimiento parabólico.

2.6.3.1 Velocidad inicial. Para la velocidad inicial se parte de las ecuaciones (17) y (18).

$$x = (v_0 \cos \alpha_0)t \quad \rightarrow \quad x = (v_0 \cos \alpha_0)t_0$$

$$t_0 = \frac{x}{(v_0 \cos \alpha_0)} \quad (21)$$

Ahora se reemplaza la ecuación (21) en la ecuación (18).

$$y = (v_0 \sin \alpha_0)t_0 - \frac{1}{2}gt_0^2$$

$$y = (v_0 \sin \alpha_0) \frac{x}{(v_0 \cos \alpha_0)} - \frac{1}{2}g \left[\frac{x}{(v_0 \cos \alpha_0)} \right]^2$$

$$y = x \tan \alpha_0 - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha_0} \quad (22)$$

De la ecuación (22) se despeja la velocidad inicial v_0 .

$$v_0 = \frac{x}{\cos \alpha_0} * \sqrt{\frac{g}{2(x \tan \alpha_0 - y)}} \quad (23)$$

2.6.3.2 Velocidad final

$$v_f = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (24)$$

Cuando el cuerpo llegue al final de su trayectoria, $y = 0$, se obtendrá un tiempo t_f despejando de la ecuación (15) y posteriormente este tiempo se reemplazará en la ecuación (20).

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad \rightarrow \quad y_0 - \frac{1}{2}gt_f^2 = 0$$

$$t_f = \sqrt{\frac{2y_0}{g}} \quad (25)$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha_0 - gt_f$$

Por definición en caída libre de cuerpos el signo del valor de la gravedad para la velocidad final debe ser negativa.

$$v_y = v_0 \sin \alpha_0 - g \sqrt{\frac{2y_0}{g}}$$

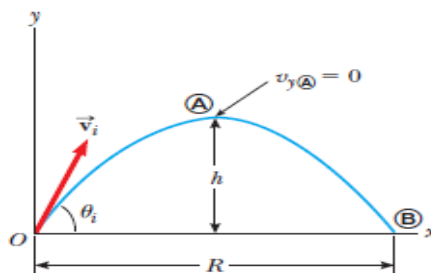
$$v_y = v_0 \sin \alpha_0 + \sqrt{2gy_0} \quad (26)$$

$$v_f = \sqrt{(v_0 \cos \alpha_0)^2 + (v_0 \sin \alpha_0 + \sqrt{2gy_0})^2} \quad (27)$$

2.6.4 Alcance horizontal y altura máxima

2.6.4.1 Alcance horizontal R

Figura 13. Alcance horizontal R y altura máxima h



Fuente: SERWAY. Física para ciencias e ingeniería p. 78

La distancia R para cuando el cuerpo llegue al final de su trayectoria, esto será cuando $y = y_0 = 0$, entonces partir de la ecuación (15) despejamos el tiempo de bajada t_2 y después reemplazar en la ecuación (17).

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad \rightarrow \quad v_{0y}t_2 - \frac{1}{2}gt_2^2 = 0$$

$$t_2 \left(v_{0y} - \frac{1}{2}gt_f \right) = 0$$

Se trata de una ecuación cuadrática con dos raíces:

$$t_2 = 0 \quad y \quad t_2 = \frac{2v_{0y}}{g}$$

$$t_2 = \frac{2v_0 \sin \alpha_0}{g} \quad (28)$$

$$x = (v_0 \cos \alpha_0)t \quad \rightarrow \quad x = (v_0 \cos \alpha_0)t_2$$

$$x = R = (v_0 \cos \alpha_0) \frac{2v_0 \sin \alpha_0}{g}$$

$$R = \frac{v_0^2 2 \sin \alpha_0 \cos \alpha_0}{g}$$

Usando la identidad trigonométrica $2 \sin \alpha_0 \cos \alpha_0 = \sin 2\alpha_0$

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha_0}{g} \quad (29)$$

2.6.4.2 Altura máxima h. La velocidad componente v_y en el punto de máxima altura es $v_y = 0$, para lo cual se parte de las ecuaciones (14) despejando el tiempo de subida t_1 y posterior reemplazar en la ecuación (18). (YOUNG, 2009).

$$v_y = v_{0y} - gt \quad \rightarrow \quad v_{0y} - gt_1 = 0$$

$$t_1 = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0 \sin \alpha_0}{g} \quad (30)$$

$$y = (v_0 \sin \alpha_0)t_1 - \frac{1}{2}gt_1^2$$

$$y = h = (v_0 \sin \alpha_0) \frac{v_0 \sin \alpha_0}{g} - \frac{1}{2}g \left(\frac{v_0 \sin \alpha_0}{g} \right)^2$$

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0}{2g} \quad (31)$$

2.7 Análisis microscópico del flujo de fluidos

Merle Potter y David Wiggert indican que el objetivo de éste tema es el estudio de los flujos reales (viscosos) en el interior de conductos circulares, es decir todos aquellos flujos limitados por superficies sólidas.

Cuando se trata con flujos reales las fuerzas viscosas suelen tener una gran importancia ya que producen esfuerzos cortantes con el movimiento del fluido, los flujos viscosos se pueden clasificar en laminares y turbulentos, teniendo en cuenta la estructura interna de flujo. En un flujo laminar, la estructura del flujo se caracteriza por el movimiento en láminas o capas, en régimen turbulento la estructura del flujo se caracteriza por movimientos tridimensionales aleatorios de las partículas de fluido, superpuesto al movimiento promedio.

Es importante indicar, que el análisis microscópico del flujo de fluidos se lo realiza aplicando las ecuaciones fundamentales de la Continuidad y Cantidad de movimiento (llamada también como la ecuación del movimiento) en forma diferencial.

Ecuaciones que son expresadas en forma diferente en tanto y cuanto el comportamiento del flujo sea laminar o turbulento.

2.7.1 *Ecuación diferencial de la continuidad.* La conservación de la masa o ecuación de continuidad es de importancia fundamental ya que debe mantenerse en cualquier campo de flujo sin importar que tipo de suposiciones simplificadoras se hayan hecho.

Coordenadas Cartesianas.

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (32)$$

Coordenadas Cilíndricas.

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho V_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} = 0 \quad (33)$$

2.7.2 *Tensiones cortantes para fluidos Newtonianos.*

Coordenadas Cartesianas.

$$\tau_{xy} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (34)$$

$$\tau_{xz} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad (35)$$

$$\tau_{yz} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad (36)$$

Coordenadas Cilíndricas.

$$\tau_{r\theta} = \mu \left[r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{V_\theta}{r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \theta} \right] \quad (37)$$

$$\tau_{\theta z} = \mu \left[\frac{\partial V_\theta}{\partial z} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \theta} \right] \quad (38)$$

$$\tau_{rz} = \mu \left[\frac{\partial V_r}{\partial z} + \frac{\partial V_z}{\partial r} \right] \quad (39)$$

2.7.3 Ecuaciones de cantidad de movimiento.

2.7.3.1 Ecuaciones de NAVIER-STOKES. Muchos fluidos manifiestan una relación lineal entre las componentes de esfuerzo y las gradientes de velocidad, tales fluidos se llaman fluidos newtonianos e incluyen fluidos comunes tales como agua, aceite y aire, además de linealidad se requiere que el fluido sea isotrópico (fluido cuyas propiedades son independientes de la posición en una dirección dada).

Coordenadas Cartesianas.

Componente x.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (40)$$

Componente y.

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (41)$$

Componente z.

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (42)$$

Coordenadas Cilíndricas.

Componente r.

$$\rho \left[\frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \theta} - \frac{V_\theta^2}{r} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} \right] = -\frac{\partial p}{\partial r} + \rho g_r + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r V_r) \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} \right] \quad (43)$$

Componente θ .

$$\rho \left[\frac{\partial V_\theta}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_\theta}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{V_r V_\theta}{r} + V_z \frac{\partial V_\theta}{\partial z} \right] = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \rho g_\theta + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r V_\theta) \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} \right] \quad (44)$$

Componente z.

$$\rho \left[\frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \theta} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right] = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right] \quad (45)$$

Ecuaciones de movimiento para coordenadas cilíndricas en función de los componentes del tensor de tensiones.

Estas ecuaciones están expresadas en función de las componentes radial, tangencial y axial, las mismas que servirán para el análisis microscópico del flujo laminar dentro del dispositivo Laminar jet para saber el perfil de velocidades del chorro.

En conjunto con las ecuaciones de Navier Stokes mencionadas anteriormente en sus coordenadas cartesianas y cilíndricas.

Componente r.

$$\rho \left[\frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \theta} - \frac{V_\theta^2}{r} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} \right] = -\frac{\partial p}{\partial r} + \rho g_r + \mu \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_{rr}) \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} - \frac{\sigma_{\theta\theta}}{r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} \right] \quad (46)$$

Componente θ .

$$\rho \left[\frac{\partial V_\theta}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_\theta}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_\theta}{\partial \theta} + \frac{V_r V_\theta}{r} + V_z \frac{\partial V_\theta}{\partial z} \right] = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \rho g_\theta + \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \tau_{r\theta}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_{\theta\theta}}{\partial \theta} - \frac{\sigma_{\theta\theta}}{r} + \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial z} \right] \quad (47)$$

Componente z.

$$\rho \left[\frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \theta} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right] = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \right] \quad (48)$$

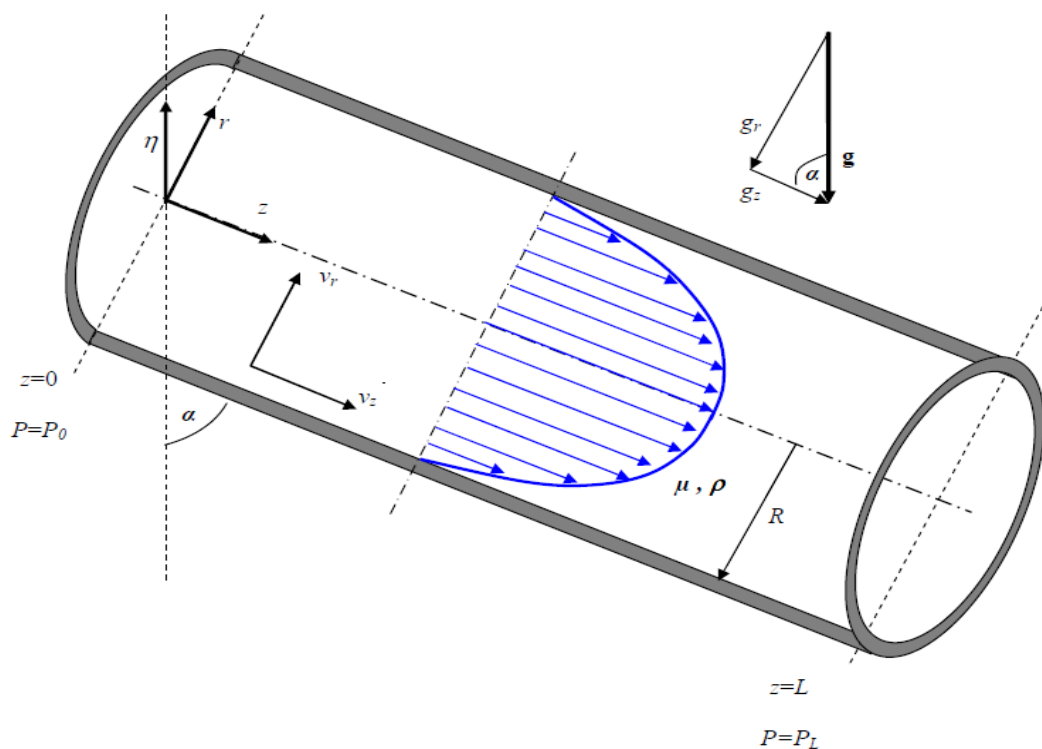
Es necesario indicar que las expresiones matemáticas de la continuidad, movimiento y componentes del tensor de tensiones presentadas en forma general, no todas son aplicadas en toda su dimensión cuando se modele un problema físico de flujo de fluidos, así también se debe señalar que su resolución depende mucho de la complejidad del modelo, algunas veces es suficiente la solución analítica pero en otros casos se debe aplicar algún método numérico.

2.7.4 Análisis microscópico del flujo laminar en un tubo. El chorro laminar generado por el dispositivo laminar jet tiene la forma de un conducto cilíndrico, por ende se analizará microscópicamente para flujos laminares en tubos, cabe recalcar que el flujo laminar se logra una vez atravesado el primer arreglo de mallas metálicas en el cuerpo del laminar jet, y es ahí donde se analizará una masa de volumen infinitesimal para encontrar la ecuación del perfil de velocidades.

En esta sección se van a desarrollar las ecuaciones para flujo laminar incompresible, para conductos circulares utilizando la solución directa de la ecuación de Navier-Stokes apropiada. El objetivo de esto es obtener una expresión para el perfil de velocidades completamente desarrollado.

2.7.4.1 Perfil de velocidades (solución de la ecuación de Navier-Stokes). Se supone que existe una única componente de velocidad no nula, correspondiente a la dirección axial (eje z) y que no existen variaciones de las variables fluidodinámicas alrededor del eje central del tubo, es decir, el flujo es axisimétrico (ver Figura 14).

Figura 14. Flujo desarrollado en el dispositivo laminar jet



Fuente: Autores

Aplicando la ecuación de continuidad en coordenadas cilíndricas, se tiene:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho r V_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(\rho V_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} = 0 \quad (49)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = 0 ; \text{Flujo estacionario.}$$

$$\frac{\partial(\rho V_\theta)}{\partial \theta} = 0 ; \text{Porque la velocidad del fluido no tiene componente tangencial.}$$

$$\frac{\partial(\rho r V_r)}{\partial r} = 0 ; \text{Porque la velocidad del fluido no tiene componente radial.}$$

$$\text{Por lo tanto, } \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 \rightarrow V_z = \text{cte.}$$

Aplicando la ecuación del movimiento en coordenadas cilíndricas, dirección z, se tiene:

$$\rho \left[\frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \theta} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right] = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \right] \quad (50)$$

$$\rho \left(\frac{\partial V_z}{\partial t} \right) = 0 ; \text{Porque el flujo es permanente.}$$

$$V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} = 0 ; \text{Porque no hay componente radial de la velocidad.}$$

$$\frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \theta} = 0 ; \text{Porque no hay componente radial de la velocidad.}$$

$$\frac{\partial V_z}{\partial z} = 0 ; \text{Ecuación de continuidad.}$$

$$\rho g_z = 0 ; \text{No hay componente de la gravedad.}$$

Por lo tanto la ecuación del movimiento en coordenadas cilíndricas se reduce a:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\theta z}}{\partial \theta} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \right) \quad (51)$$

Aplicando la ecuación del movimiento en coordenadas cilíndricas, dirección z (ecuación de NAVIER STOKES); se tiene:

$$\rho \left[\frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{V_\theta}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \theta} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right] = - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right] \quad (52)$$

Debido a las condiciones del fluido se llegó a la conclusión que todos los términos del primer miembro de la ecuación anterior se hacen cero es así que se tiene:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right] \quad (53)$$

Donde:

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_z}{\partial \theta^2} = 0 ; \text{ No hay componente tangencial de la velocidad.}$$

$$\frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} = 0 ; \text{ Ecuación de continuidad.}$$

Finalmente se tiene:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) \right] \quad (54)$$

Pero se considera que la variación de presión a lo largo del tubo, está dada por la siguiente expresión:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\Delta p}{L} = \frac{(p_S - p_E)}{L} \quad (55)$$

Es así que reemplazando esta expresión en la ecuación anterior se tiene:

$$\frac{(p_S - p_E)}{L} = \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) \right] \quad (56)$$

$$\frac{r(p_S - p_E)}{\mu L} = \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right)$$

$$\int \frac{r(p_S - p_E)}{\mu L} dr = \int d \left(r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right)$$

$$\begin{aligned}
\frac{(p_S - p_E)}{\mu L} \int r dr &= \int d \left(r \frac{\partial V_z}{\partial r} \right) \\
\frac{r^2 (p_S - p_E)}{2\mu L} + C_1 &= r \frac{\partial V_z}{\partial r} \\
\frac{r(p_S - p_E)}{\mu L} + \frac{C_1}{r} &= \frac{\partial V_z}{\partial r} \\
\frac{(p_S - p_E)}{\mu L} \int r dr + \int \frac{C_1}{r} dr &= \int dV_z \\
V_z &= \frac{r^2 (p_S - p_E)}{4\mu L} + C_1 \ln r + C_2
\end{aligned} \tag{57}$$

Al aplicar las condiciones de frontera tomando las coordenadas (r, Z) se tiene que hay dos velocidades que se vuelven cero cuando están muy próximos a la pared del tubo es así que cuando el radio toma los valores de las constantes A y B la $V_z = 0$, por lo tanto se tiene:

$$r = -B \rightarrow V_z = 0$$

$$r = A \rightarrow V_z = 0$$

$$V_z = \frac{B^2 (p_S - p_E)}{4\mu L} + C_1 \ln(-B) + C_2 \quad (\text{Condición 1})$$

$$V_z = \frac{A^2 (p_S - p_E)}{4\mu L} + C_1 \ln(A) + C_2 \quad (\text{Condición 2})$$

Igualando las ecuaciones de la primera condición de frontera y la segunda se logrará encontrar el valor de C1, y posterior el de C2.

$$\begin{aligned}
0 &= (A^2 - B^2) \frac{(p_S - p_E)}{4\mu L} + C_1 \ln\left(-\frac{A}{B}\right) \\
C_1 &= - \frac{(A^2 - B^2) \frac{(p_S - p_E)}{4\mu L}}{\ln\left(-\frac{A}{B}\right)}
\end{aligned} \tag{58}$$

Reemplazando el valor de C1 en la ecuación de V_z 2da condición se tiene:

$$V_z = \frac{A^2(p_S - p_E)}{4\mu L} + C_1 \ln(A) + C_2$$

$$0 = \frac{A^2(p_S - p_E)}{4\mu L} - \frac{(A^2 - B^2) \frac{(p_S - p_E)}{4\mu L}}{\ln(-\frac{A}{B})} \ln(A) + C_2$$

Para obtener finalmente el valor de C2.

$$C_2 = \frac{(A^2 - B^2) \frac{(p_S - p_E)}{4\mu L}}{\ln(-\frac{A}{B})} \ln(A) - \frac{A^2(p_S - p_E)}{4\mu L} \quad (59)$$

Tomando los valores de C1, C2 y reemplazándolos en la ecuación V_z se obtiene:

$$V_z = \frac{r^2(p_S - p_E)}{4\mu L} + C_1 \ln r + C_2$$

$$V_z = \frac{r^2(p_S - p_E)}{4\mu L} - \frac{(A^2 - B^2) \frac{(p_S - p_E)}{4\mu L}}{\ln(-\frac{A}{B})} \ln r + \frac{(A^2 - B^2) \frac{(p_S - p_E)}{4\mu L}}{\ln(-\frac{A}{B})} \ln(A) - \frac{A^2(p_S - p_E)}{4\mu L} \quad (60)$$

Debido a que el $\ln -\frac{A}{B} = \infty$, la ecuación que se obtiene finalmente es la del perfil de velocidades del flujo laminar que pasa a través de los conjuntos de mallas instaladas en el cuerpo cilíndrico del dispositivo Laminar Jet. (POTTER, 2002).

$$V_z = \frac{A^2(p_S - p_E)}{4\mu L} - \frac{r^2(p_S - p_E)}{4\mu L} \quad (61)$$

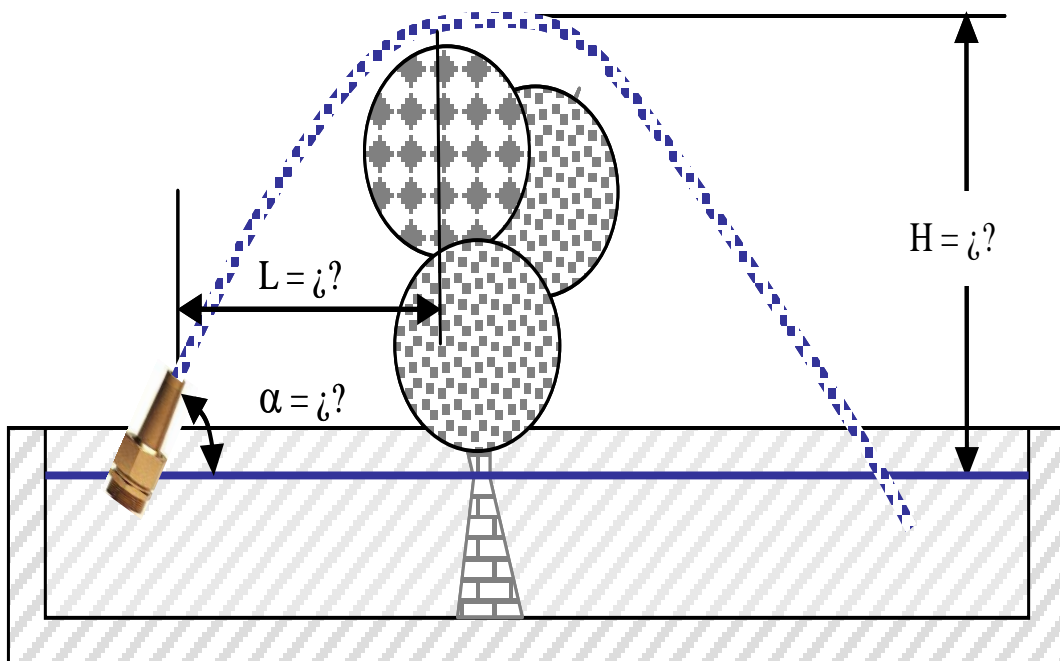
$$V_z = \frac{\Delta p}{4\mu L} (A^2 - r^2) \quad (62)$$

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO Y DEL EQUIPO LAMINAR JET

3.1 *Diseño del sistema hidráulico.* Los cálculos hidráulicos de los sistemas o redes de tuberías- bomba- depósito de cada conjunto de boquillas deben garantizar la obtención, en la base de cada boquilla, del caudal y de la carga a presión requeridos para obtener la altura, alcance horizontal o condiciones de la trayectoria del chorro (por ejemplo: que impacte en una zona dada, que sobrevuele un punto, etcétera) contemplada en el proyecto artístico de la fuente.

Figura 15. Ilustración y datos de una fuente de un sólo chorro de agua

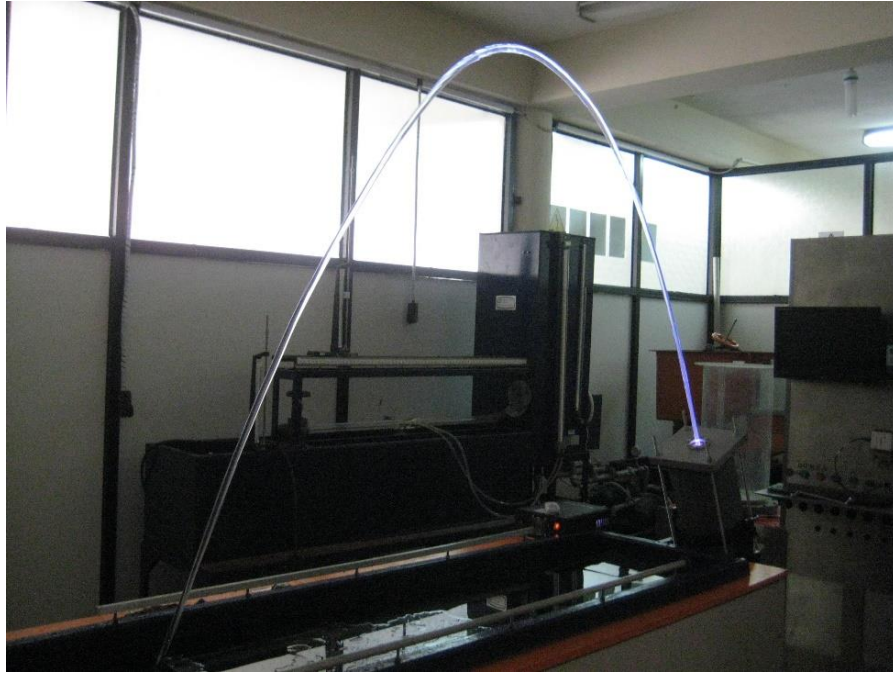


Fuente: <http://www.saferain.com/es/blog/25-calculos-hidraulicos-de-fuentes-ornamentales.html>

3.1.1 *Datos requeridos para el funcionamiento del chorro laminar.* Para el funcionamiento del laminar jet se requiere que el chorro tenga un alcance de 2 metros, asumiendo que el diámetro de la boquilla sea de 15 milímetros de diámetro, la posición angular del dispositivo que será la de mayor caudal necesario que es de 85 grados y la

ubicación de la boquilla con respecto al nivel del agua que sería aproximadamente 0,4 metros, teniendo todos estos datos se procede a calcular los parámetro de altura máxima del chorro, la velocidad inicial de salida del chorro y la velocidad final con la que llega al final de su trayectoria y posteriormente saber cuál es el caudal necesario para poder alcanzar los requerimientos dados.

Figura 16. Condiciones requeridas del laminar jet



Fuente: Autores

3.1.2 *Cálculo de la velocidad inicial del chorro laminar.* Para el cálculo de la velocidad inicial, se utilizará la ecuación (12) descrita en el capítulo anterior, teniendo como datos:

Alcance $x = z$ Desde la boquilla hasta el nivel de agua en reposo.

$$g = 9.81m/s^2.$$

$\alpha_0 = 85^\circ$, Ángulo de inclinación de la tobera.

$$v_0 = \frac{x}{\cos \alpha_0} * \sqrt{\frac{g}{2(x \tan \alpha_0 - y_0)}}$$

$$v_0 = \frac{2m}{\cos 85^\circ} * \sqrt{\frac{9,81m/s^2}{2(2m * \tan 85^\circ - (-0,4m))}}$$

$$v_0 = 10,54 m/s$$

3.1.3 *Cálculo de la velocidad final del chorro laminar.* Para el cálculo de la velocidad final, se utiliza la ecuación (27) descrita en el capítulo anterior, teniendo como datos:

$$v_0 = 10,54 m/s$$

$$\alpha_0 = 85^\circ$$

$$y_0 = 0,4m$$

$$g = 9.81m/s^2.$$

$$v_f = \sqrt{(v_0 \cos \alpha_0)^2 + (v_0 \sin \alpha_0 + \sqrt{2gy_0})^2}$$

$$v_f = \sqrt{(10,54m/s * \cos 85^\circ)^2 + \left(\frac{10,54m}{s} * \sin 85^\circ + \sqrt{2 * (-9,81m/s^2) * (-0,4m)}\right)^2}$$

$$v_f = \sqrt{(10,54m/s * \cos 85^\circ)^2 + \left(10,54m/s * \sin 85^\circ + \sqrt{2 * 9,81m/s^2 * 0,4m}\right)^2}$$

$$v_f = 13,33m/s$$

3.1.4 *Cálculo de la altura (Y) que alcanza el chorro laminar.* Para el cálculo de la altura, se utiliza la ecuación (31) descrita en el capítulo anterior, teniendo como datos:

$$v_0 = 10,54 m/s$$

$$\alpha_0 = 85^\circ$$

$$g = 9.81m/s^2.$$

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0}{2g}$$

$$h = \frac{(10,54m/s)^2 \sin^2 85^\circ}{2 * 9.81m/s^2}$$

$$h = 5,6m$$

A este valor anterior de altura inicial se tiene que sumar la altura inicial a la que está ubicada la boquilla con respecto al nivel de agua en reposo.

$$y_{max} = 5,6m + 0,4m$$

$$y_{max} = 6m$$

Esta sería la altura total que alcanza el chorro de agua laminar.

3.1.5 Cálculo del caudal (Q). En el cálculo del caudal se tiene como datos los siguientes parámetros.

$d = 15mm$, Diámetro de la boquilla.

$$v_0 = 10,54 m/s$$

$$Q = v_0 * A, [m^3/s]$$

$$A = \left(\frac{\pi}{4}\right) * \left(\frac{d}{1000}\right)^2, [m^2]$$

$$A = \left(\frac{\pi}{4}\right) * \left(\frac{15mm}{1000}\right)^2$$

$$A = 1,77 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = v_0 * A$$

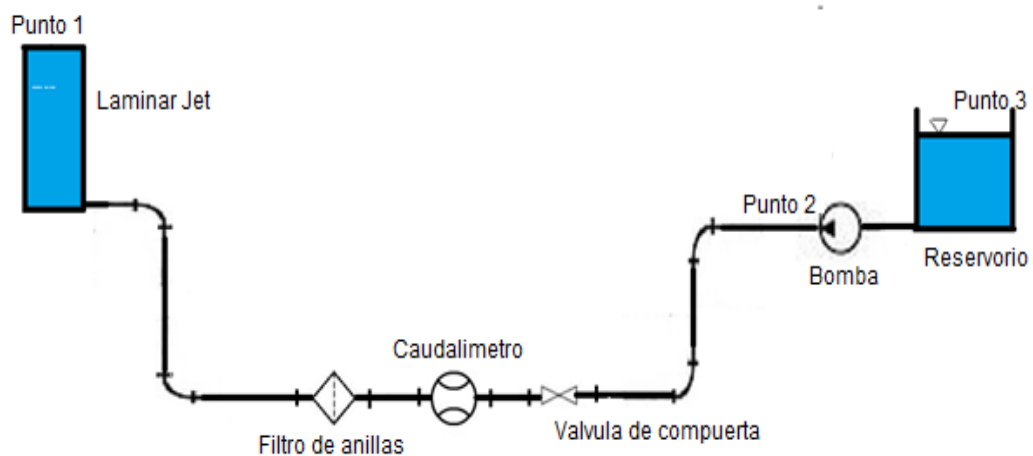
$$Q = 10,54 \text{ m/s} * 1,77 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$Q = 1,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 108 \text{ l/min}$$

3.2 Cálculo y selección de la bomba

Figura 17. Puntos de funcionamiento



Fuente: Autores

3.2.1 Cálculos de los parámetros faltantes para la selección de la bomba. Para este cálculo se realiza un análisis en la salida de la bomba (punto 2) y en la boquilla del dispositivo laminar jet (punto 1), el mismo que anteriormente ya se analizó.

Aplicando la ecuación de continuidad y la ecuación de la energía para fluidos se realizan los cálculos para el punto 2 y se encontraran los parámetros faltantes.

La tubería que se utilizará en el tramo de impulsión del agua es de diámetro 1 pulgada.

Diámetro interior de la tubería $d_2 = 25,4 \text{ mm}$.

$$A_2 = \left(\frac{\pi}{4}\right) * \left(\frac{d_1}{1000}\right)^2, [m]$$

$$A_2 = \left(\frac{\pi}{4}\right) * \left(\frac{25,4mm}{1000}\right)^2$$

$$A_2 = 5,067 \times 10^{-4} m^2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$1,77 \times 10^{-4} m^2 * 10,54 m/s = 5,067 \times 10^{-4} m^2 * v_2$$

$$v_2 = \frac{1,8 \times 10^{-3} m/s}{5,067 \times 10^{-4}}$$

$$v_2 = 3,5 m/s$$

Aplicando la ecuación de la energía de los fluidos explicada en el capítulo anterior, se encontrará el diferencial de presión.

$$p_3 + \rho g y_3 + \frac{1}{2} \rho v_3^2 + H_B - \rho g h_{L(3-1)} = p_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2$$

Para este cálculo se considera que y_1 y y_3 son despreciables debido a que son alturas mínimas, al igual que p_1 y p_3 ya que es presión atmosférica.

En consecuencia la diferencia de presión se expresa de la siguiente forma:

$$H_B = \frac{v_1^2}{2g} + H_{L(3-1)}$$

Para encontrar la altura manométrica total se aplica la ecuación de Pérdidas de carga.

$$h_L = h_f + \sum h_l$$

h_f = Pérdidas de carga en tramos rectos de tubería.

$\sum h_l$ = Sumatoria de Pérdidas de carga en accesorios.

Las Pérdidas de carga en un tramo recto de una tubería se pueden despreciar a que las longitudes de tubería son cortas.

Entonces la altura manométrica total será la sumatoria de Pérdidas de carga por accesorios.

$$h_L = \sum h_l$$

$$h_l = K_{accesorio} \frac{v^2}{2g}$$

$$K = \left(\frac{L_e}{D} \right) f$$

Dónde:

f = Factor de fricción de Darcy- Weisbach.

L_e = Longitud equivalente, tabulada para cada accesorio.

D = Diámetro interior de la tubería (25,4mm).

v = Velocidad del flujo en el punto 2.

El factor de fricción está en función del número de Reynolds, para lo cual se necesita el cálculo del mismo y saber si es flujo laminar o turbulento.

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu}$$

Si $Re \leq 2000$ Es un flujo LAMINAR.

Si $Re \geq 4000$ Es un flujo TURBULENTO.

Para lo cual se necesita los siguientes parámetros:

$$v_2 = 3,5 \text{ m/s}$$

$$\mu = 1,139 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} \text{ Viscosidad dinámica (ver Tabla 3).}$$

$$\rho_{H_2O} = 999,19 \text{ kg/m}^3 \text{ a } 15^\circ\text{C} \text{ (ver Tabla 3).}$$

$$Re = \frac{(3,5 \text{ m/s}) (0,0254 \text{ m}) (999,19 \text{ kg/m}^3)}{(1,139 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s})}$$

$$Re = 89128,8$$

$Re \geq 4000$ Es un flujo TURBULENTO.

Como Reynolds es mayor que 4000, está en el régimen turbulento para cual se utilizará la ecuación de Swamee y Jain (ver Tabla 7), para el cálculo del factor de fricción.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7(D/\varepsilon)} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$100 \leq \frac{D}{\varepsilon} \leq 10^6$$

$$5000 \leq Re \leq 10^8$$

La rugosidad absoluta (ε) para tuberías de PVC es de $0,0015 \text{ mm}$, valor tomado de la Tabla 6.

$$\frac{D}{\varepsilon} = \frac{25,4 \text{ mm}}{0,0015 \text{ mm}} = 16933,33 \rightarrow \text{Cumple con el rango establecido.}$$

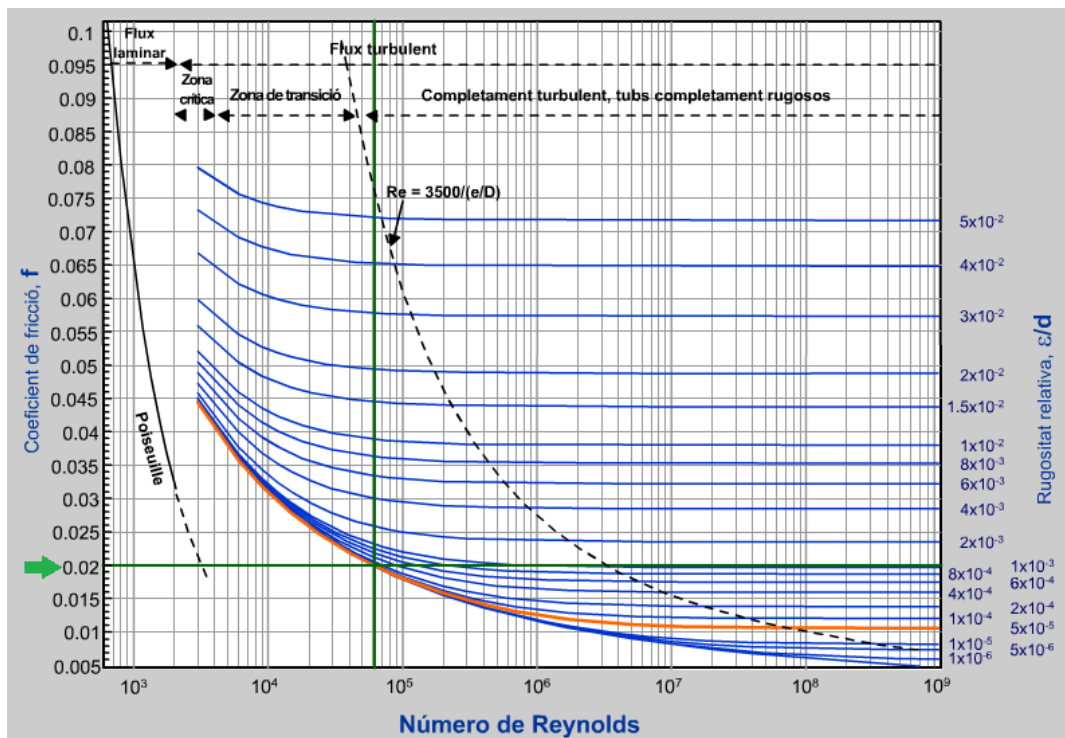
$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 * (16933,33)} + \frac{5,74}{89128,8^{0,9}} \right) \right]^2} \rightarrow f = 0,02$$

Para comprobar el valor del factor de fricción (f), ahora se utilizará el diagrama de Moody, (ver Figura 11) del capítulo anterior, para lo cual se necesita los valores del números de Reynolds y el de ε/D .

$$Re = 89128,8$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015mm}{25,4mm} = 4 \times 10^{-5}$$

Figura 18. Cálculo de f mediante el diagrama de Moody



Fuente: <http://mie.esab.upc.es/df/fluids/moody.htm>

Comprobado el valor del factor de fricción es el mismo, $f = 0,02$, ahora ya se puede calcular las Pérdidas de carga en cada accesorio (h_l).

$$h_l = K_{\text{accesorio}} \frac{v^2}{2g}$$

$$K = \left(\frac{L_e}{D} \right) f$$

Válvula de compuerta ½ abierta.

$$\left(\frac{L_e}{D}\right) = 160 \quad (\text{Tabla 4})$$

$$K = 160 * 0,02$$

$$K = 3,2$$

$$h_{l1} = 3,2 * \frac{(3,5m/s)^2}{2 * 9,81m/s^2}$$

$$h_{l1} = 1,99m$$

Filtro

$$K = 3$$

$$h_{l2} = 3 * \frac{(3,5m/s)^2}{2 * 9,81m/s^2}$$

$$h_{l2} = 1,87m$$

Debido a la falta de especificaciones e información de datos de Pérdidas de carga para el caudalímetro y el laminar jet se asume un coeficiente de pérdida de carga global de los dos accesorios de $k = 18$.

$$K = 18$$

$$h_{l3} = 18 * \frac{(3,5m/s)^2}{2 * 9,81m/s^2}$$

$$h_{l3} = 11,23m$$

$$\sum h_l = h_{l1} + h_{l2} + h_{l3}$$

$$\sum h_l = 1,99m + 1,87m + 11,23m$$

$$\sum h_l = 15,09m$$

Entonces la altura manométrica total que elevará la bomba será:

$$h_L = \sum h_l$$

$$H_{L(3-1)} = 15,09m$$

Ahora se procede a encontrar la energía que entrega la bomba.

$$H_B = \frac{v_1^2}{2g} + H_{L(3-1)}$$

$$H_B = \frac{(10.54 \frac{m}{s})^2}{2(9.81 \frac{m}{s^2})} + 15.09m$$

$$h_B = 5.66m + 15.09m$$

$$h_B = 20.757m$$

La potencia de la bomba podrá calcularse de la siguiente fórmula:

$$P = h_B * \rho * g * Q [Watts] \quad (63)$$

$$P = 20.757m * 999,19 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 1,8x10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

$$P = 366,23Watts \quad 1Hp = 745Watts$$

$$P = 0,49Hp$$

$$P_{real} = \frac{P}{n} \quad (64)$$

Dónde:

n = eficiencia de la bomba se recomienda un $n=0,5$

$$P_{real} = \frac{0,49Hp}{0,5}$$

$$P = 1Hp$$

3.2.2 Selección de la bomba. En consecuencia se debe seleccionar una bomba que eleve 108 L/min, a una altura manométrica de 15,09 m.c.a., y una potencia de 1hp para lo cual se seleccionará una bomba de caudal.

3.2.3 Selección del filtro. Los filtros son de gran utilidad ya que minimizan el riesgo de taponamientos y mejoran la calidad física del agua, gracias a sus pequeños agujeros por los cuales sólo circulará el agua, mientras que las impurezas que lleva el agua quedaran incrustadas en los agujeros del filtro, pero para un buen funcionamiento del filtro se deber realizar un apropiado mantenimiento, se tiene que realizar una limpieza del mismo para evitar el obstaculamiento o taponamientos del agua y evitar riesgos de un mal funcionamiento, por lo cual se ha desarrollado un manual de mantenimiento, en caso de ser necesario consultar el manual.

Para la selección del tipo y tamaño del filtro apropiado deben considerarse los siguientes aspectos:

- Tipo, tamaño y concentración de las partículas en suspensión en el agua.
- La calidad del agua requerida para asegurar el buen funcionamiento del equipo.
- El caudal de diseño.

Los filtros poseen una capacidad para retener las partículas sobre un determinado tamaño y se expresa en unidades mesh según la norma (Norma ISO/R 565) que significa número de orificios en la malla por pulgada lineal.

Tabla 8. Norma ISO/R 565 para mallas metálicas

Nº MALLA	Nº MESH	ABERTURA criba (μm)	DIÁMETRO alambre (μm)
16	14	1.180	650
18	16	1.000	580
20	20	850	510
25	24	710	450
30	28	600	390
35	32	500	340
40	35	425	290
45	42	355	247
50	48	300	215
60	60	250	180
70	65	212	152
80	80	180	131
100	100	150	110
120	115	125	91
140	150	106	76
170	170	90	64
200	200	75	53
230	250	63	44

($1\mu\text{m} = 0.001\text{ mm}$)

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>

De acuerdo a la necesidad y al caudal de diseño se seleccionó un filtro mesh 35 malla 40, el mismo que será instalado antes de la toma del dispositivo laminar jet, logrando así disminuir la turbulencia del flujo de agua.

3.3 Diseño y principio de funcionamiento del equipo laminar jet

3.3.1 Proyección para el diseño del cuerpo del equipo laminar jet. Es el elemento principal del equipo laminar jet ya que será en donde se acoplarán todos los elementos necesarios para la obtención del flujo laminar.

3.3.1.1 Problemáticas en el diseño del cuerpo del equipo laminar jet

- Dificultades de selección del material.
- Determinación de la forma del cuerpo.
- Determinación de un adecuado dimensionamiento.
- La determinación de la presión existente en su interior.

3.3.1.2 Características necesarias del cuerpo del equipo laminar jet. Para que el cuerpo del laminar jet desempeñe su trabajo de forma correcta y eficiente debe cumplir con las siguientes condiciones:

Condiciones de funcionamiento

- El cuerpo del laminar jet estará sometido a funcionar a una determinada presión para lo cual el material para su construcción debe ser resistente a altas presiones.
- La superficie interna del cuerpo laminar jet debe ser lo suficientemente lisa, para disminuir la turbulencia del agua.

Condiciones de construcción

- La forma del cuerpo debe ser sencilla para evitar dificultades durante la construcción.
- Tratar en lo mínimo de reducir costos por materiales y construcción del cuerpo.
- El material del que se construirá el cuerpo del equipo laminar jet debe ser resistente a la corrosión.
- El material con el cual se construirá el cuerpo debe ser resistente a altas presiones. La forma más sencilla, material resistente a altas presiones y que se encuentren con facilidad en el mercado Ecuatoriano es la tubería de alta presión de PVC.

Condiciones de mantenimiento

- Asegurar una fácil limpieza, es decir tener una forma tal que se pueda llegar a cada parte de la superficie total interna del cuerpo del equipo.
- Asegurar un fácil desmontaje de las piezas del equipo laminar jet para poder facilitar las labores de mantenimiento.

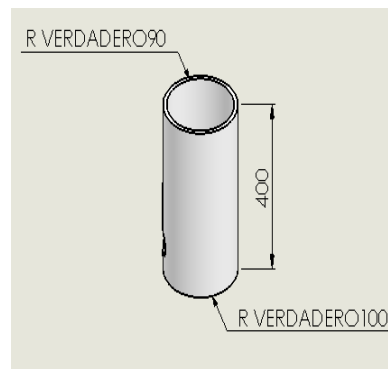
3.3.1.3 Diseño del cuerpo del equipo laminar jet. Tomando en cuenta las condiciones antes mencionadas, se ha diseñado el cuerpo del equipo laminar jet con las siguientes especificaciones:

Material y dimensiones del cuerpo del equipo laminar jet

Tubería de alta presión de PVC de 8 pulgadas (200 mm) de diámetro de 400 milímetros de longitud, se seleccionó este material en base a los argumentos presentados en la proyección para el diseño del mismo. Considerando que el equipo laminar jet que se va a construir es con objeto investigativo como se dijo anteriormente, el diámetro seleccionado para la construcción del cuerpo es de 8 pulgadas con una longitud total de 400 milímetros, y se considera al PVC, ya que es un material con una buena resistencia a altas presiones y resistente a la corrosión.

A continuación se presenta un esquema del cuerpo laminar jet con las especificaciones y dimensiones necesarias.

Figura 19. Disposición y dimensiones del cuerpo laminar jet



Fuente: Autores

3.3.2 *Proyección para el diseño de la tobera o boquilla.* La tobera, llamada también surtidor o boquilla, es el elemento a través del cual sale el agua, proyectada y conformada, para conseguir un determinado efecto estético, en este caso para conseguir un efecto de chorro laminar.

Es por tanto, la pieza clave en una fuente ornamental por ser la responsable de configurar los volúmenes de agua en el aire. El origen de la tobera está en el conducto que en principio es un tubo corto por el que sale el agua en una fuente.

3.3.2.1 *Problemáticas en el diseño de la tobera o boquilla.* Las problemáticas que se hallan en el diseño de la boquilla se pueden resumir de la siguiente forma:

- Dificultades de selección del material de la boquilla.
- Determinación de la forma de la boquilla.
- Determinación de un adecuado dimensionamiento.

3.3.2.2 Características necesarias de la tobera o boquilla. Para que la boquilla desempeñe su trabajo de forma correcta y eficiente debe cumplir con las siguientes condiciones:

Condiciones de funcionamiento

- La boquilla garantizará un determinado diámetro del chorro de agua laminar.
- La boquilla debe asegurar la existencia de la forma parabólica del chorro, gracias a su forma cónica en su interior.

Condiciones de construcción

- La forma de la boquilla debe ser sencilla para evitar dificultades durante la construcción.
- Tratar en lo mínimo de reducir costos por materiales y construcción de la tobera.
- El material del que se construirá la tobera debe ser resistente a la corrosión. Las boquillas se construyen generalmente de cobre y acero inoxidable.

Condiciones de mantenimiento

- Asegurar una fácil limpieza, es decir tener una forma tal que se pueda llegar a cada parte de la superficie total de la boquilla.
- Ser de fácil desmontaje, ya que en algún momento puede ser necesario removerla de su lugar de trabajo para darle mantenimiento.

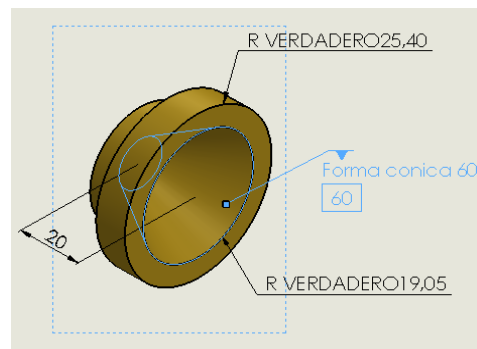
3.3.2.3 Diseño de la tobera o boquilla. Tomando en cuenta las condiciones antes mencionadas, se ha diseñado una boquilla que cumpla con los requerimientos para lograr el chorro perfecto la cual tendrá las siguientes especificaciones.

Material y dimensiones de la boquilla

Considerando que el equipo laminar jet que se va a construir es con objeto investigativo como se dijo anteriormente, el diámetro seleccionado para la construcción de la boquilla es de 2 plg con una longitud total de 20 milímetros, y se considera al cobre, ya que es un material maleable, resistente a la corrosión.

A continuación se presenta un esquema de la boquilla con las especificaciones y dimensiones necesarias.

Figura 20. Disposición y dimensiones de la boquilla



Fuente: Autores

3.3.3 *Proyección para el diseño de los discos de malla de acero inoxidable.* Los dispositivos de los discos de malla de acero inoxidable, están diseñados para reducir la turbulencia del agua, ya que al trabajar en conjunto de varios elementos de discos de malla metálica de acero inoxidable se logrará que el flujo turbulento se transforme en flujo laminar, gracias a sus pequeños orificios el agua es obligada a fluir en forma de hilos paralelos en toda su trayectoria.

3.3.3.1 *Problemáticas en el diseño de los discos de malla de acero inoxidable.* Las problemáticas que se hallan en el diseño de los discos de malla de acero inoxidable se pueden resumir de la siguiente forma:

- Dificultades de selección del material.
- Dificultades en la adquisición del material.
- Dificultades en su construcción.

3.3.3.2 *Características necesarias de los discos de malla de acero inoxidable.* Para que los discos de malla de acero inoxidable desempeñen su trabajo de forma correcta y eficiente debe cumplir con las siguientes condiciones:

Condiciones de funcionamiento

- Los discos de malla de acero inoxidable deben garantizar la fluidez del agua en forma de hilos paralelos y por ende disminuir totalmente la turbulencia dentro del cuerpo del equipo laminar jet.
- Los discos de malla de acero inoxidable transformaran el flujo del agua de turbulento a laminar.

Condiciones de construcción

- La forma de los discos de malla de acero inoxidable deben ser la misma que del cuerpo del equipo laminar jet, ya que deben ir acopladas dentro del mismo.
- Tratar en lo mínimo de reducir costos por materiales y construcción de los discos de malla de acero inoxidable.
- Reducir en lo mínimo el desperdicio de malla metálica inoxidable durante su construcción debido a su alto costo.
- Los materiales del que se construirán los discos deben ser resistentes a la corrosión. Los mismos que son de malla de alambre de acero inoxidable y para sus contornos de plancha de acero inoxidable.

Condiciones de mantenimiento

- Asegurar una fácil limpieza, para evitar taponamientos por impurezas del agua.
- Ser de fácil desmontaje, para su despiece y dar mantenimiento, ya que estas partes del equipo laminar jet son las que garantizarán el flujo laminar.

3.3.3.3 *Diseño de los discos de malla de acero inoxidable.* Tomando en cuenta las condiciones antes mencionadas, se ha diseñado los discos de malla de acero inoxidable con las siguientes especificaciones.

Material y dimensiones para los discos de malla de acero inoxidable

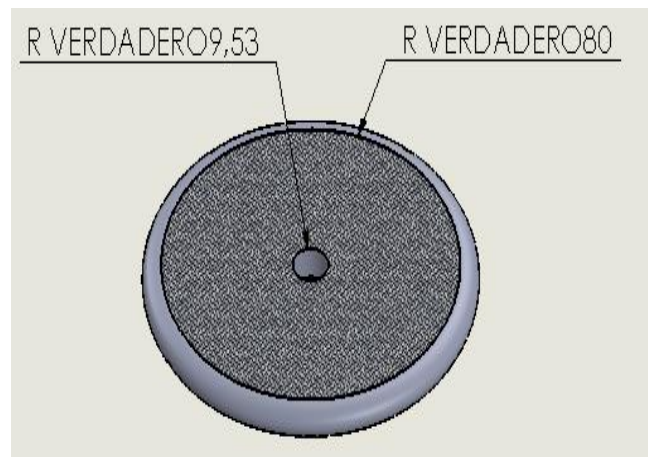
Malla de alambre de acero inoxidable, se seleccionó este material en base a los argumentos presentados en la proyección para el diseño.

Las dimensiones del disco de malla de acero inoxidable tienen que ser de 180 milímetros de diámetro y de 10 milímetros aproximadamente de espesor de la chapa metálica inoxidable que soportaran la malla de acero, con un orificio central de 20 milímetros de diámetro, por el cual se incrustará un tubo de PVC para la instalación de la fibra óptica para la iluminación delorro de agua laminar, tal que el disco tiene que ingresar en el cuerpo del equipo laminar jet para su respectivo ensamblaje.

Se considera a la malla de alambre de acero inoxidable y la chapa metálica inoxidable como materiales resistentes a la corrosión, los mismos que pueden estar en contacto con el agua y no se corroerán, para con el paso del tiempo no exista un desgaste de los discos por corrosión y así evitar un mal funcionamiento del equipo.

A continuación se presenta un esquema del disco de malla de acero inoxidable con las especificaciones y dimensiones necesarias.

Figura 21. Disposición y dimensiones de los discos de malla inoxidable



Fuente: Autores

3.3.4 *Proyección para el diseño de las tapas superior e inferior del equipo laminar jet.* La tapa superior es el elemento que garantizará la hermeticidad adecuada junto con

la tapa inferior con sus respectivos empaques o sellos, para que no exista fugas de agua por sus extremos y evitar el mal funcionamiento del equipo laminar jet, también será destinada para el acoplamiento de la boquilla y el sujetador de la misma, la hermeticidad se logrará dando apriete a cuatro pernos con sus respectivas tuercas ubicados en los extremos de las tapas.

3.3.4.1 *Problemáticas en el diseño de las tapas superior e inferior del equipo laminar jet.* Las problemáticas que se hallan en el diseño de las tapas se pueden resumir de la siguiente forma:

- Dificultades de selección del material de las tapas.
- Determinación de la forma de las tapas.

3.3.4.2 *Características necesarias de las tapas superior e inferior del equipo laminar jet.* Para que las tapas desempeñen su trabajo de forma correcta y eficiente deben cumplir con las siguientes condiciones:

Condiciones de funcionamiento

- La tapas superior e inferior deben garantizar la suficiente hermeticidad junto con el cuerpo del equipo laminar jet, para que no exista fugas de agua.
- La tapa superior debe alojar a la boquilla y en conjunto asegurar que no exista fugas en su acoplamiento.

Condiciones de construcción

- La forma de las tapas superior e inferior deben ser lo suficientemente sencillas para evitar dificultades durante la construcción.
- Tratar en lo mínimo de reducir costos por materiales y construcción de las tapas superior e inferior.
- El material del que se construirá las tapas superior e inferior debe ser resistente a la corrosión y de fácil maquinado.

Condiciones de mantenimiento

- Debe ser de fácil desmontaje, ya que en algún momento puede ser necesario remover las tapas para su respectivo mantenimiento

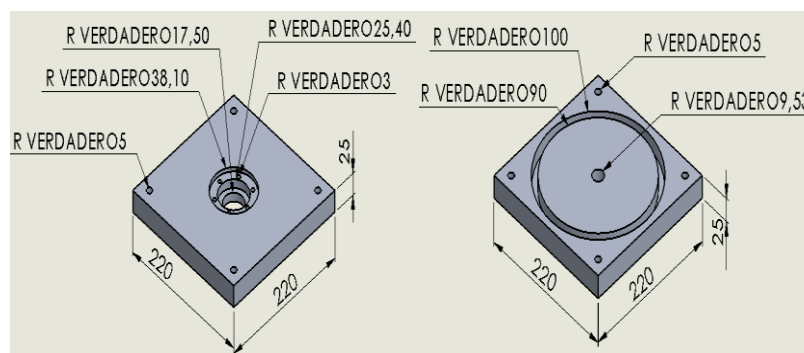
3.3.4.3 Diseño de las tapas superior e inferior del equipo laminar jet. Tomando en cuenta las condiciones antes mencionadas, se ha diseñado las tapas superior e inferior con las siguientes especificaciones.

Material y dimensiones para las tapas superior e inferior del equipo laminar jet

Aluminio fundido y maquinado, se seleccionó este material en base a los argumentos presentados en la proyección para el diseño. Las dimensiones de las tapas superior e inferior son placas cuadradas de 220 milímetros por 25 milímetros de espesor, para posterior ser respectivamente maquinadas y torneadas.

A continuación se presenta un esquema del disco de malla de acero inoxidable con las especificaciones y dimensiones necesarias.

Figura 22. Disposición y dimensiones de las tapas superior e inferior



Fuente: Autores

3.4 Sistema de control de funcionamiento

3.4.1 Introducción. Se considera al sistema de control de funcionamiento como un conjunto de componentes físicos conectados entre sí, de tal forma que regulen o dirijan su actuación por sí mismos.

Para el sistema de funcionamiento se utiliza una unidad de control central, como es el caso del relé inteligente Logo Siemens para completar las siguientes acciones.

- La primera acción hace que salga el chorro laminar sin iluminación.
- La segunda acción hace que el chorro laminar se ilumine.
- La tercera acción hace que la iluminación cambie de colores en determinados tiempos.
- El programa de cambio de color de luz del motor LED puede ser elegido por el usuario a través del mando a distancia por control remoto.

3.4.2 Relé inteligente.

3.4.2.1 Logo Siemens. En el manual logo Siemens señala que el módulo lógico universal para la electrotecnia, permite solucionar las aplicaciones cotidianas con un confort decisivamente mayor y menos gastos.

Mediante el logo se solucionan cometidos en las técnicas de instalaciones en edificios y en la construcción de máquinas y aparatos (por, ejemplo: controles de puertas, ventilación, bombas de aguas, etc.).

Figura 23. Relé inteligente logo Siemens



Fuente: http://www.controltechsite.com/index.php/cPath/19_46

El relé inteligente será el encargado de controlar los programas mencionados anteriormente, será la unidad de control para el sistema de funcionamiento del dispositivo laminar jet.

3.4.3 Características del logo Siemens. Toda la programación se realiza, de una forma bastante sencilla, con las 6 teclas que están situadas en su frontal. La visualización del programa, estado de entradas y salidas, parámetros, etc., se realiza en una pequeña pantalla LCD de forma gráfica.

La intensidad permanente en los bornes de salida varía según el modelo, siendo en todos los casos inferior a 10 A, por lo tanto si el poder de corte que necesitamos es mayor, están disponibles unos contactores auxiliares, a 24 o 230v, de hasta 25A, que puede ser alojado directamente en el raíl del cuadro de protección. Todos los modelos de logo permiten ser conectados a un PC con un cable especial que distribuye la propia Siemens. Curiosamente este cable cuesta tanto como los logo más económicos.

La programación se realiza en un lenguaje gráfico de puertas lógicas.

Las funciones básicas (and, or, nand, nor, etc...) son idénticas en todos los modelos. Las funciones especiales, como relojes, temporizadores, etc., están limitadas en alguno de los modelos de gama baja, por lo tanto se hace imprescindible consultar las características para saber si el logo adquirido puede realizar lo que se tenía previsto.

3.4.4 Modos de funcionamiento del logo Siemens. Existen tres modos de funcionamiento:

- Modo programación - para elaborar el programa.
- Modo RUN - para poner en marcha el Logo.
- Modo parametrización - para modificar los parámetros de algunas de las funciones, tiempo, computo, relojes, etc.

El modo parametrización resulta muy interesante ya que permite al usuario realizar los ajustes de la instalación sin modificar el programa.

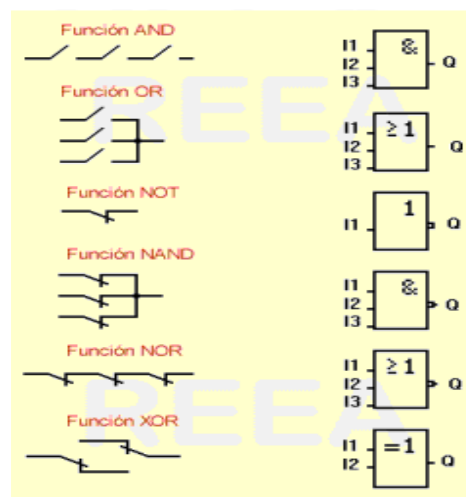
El técnico, en modo programación, decidirá cuales son los parámetros que el usuario pueda cambiar, es decir que si desea que el tiempo de un temporizador no sea modificado, se puede configurar dicho bloque para que no esté disponible en la parametrización.

3.4.5 *Software de programación del logo Siemens.* El software de programación para PC es el LogoSoft. Actualmente, Siemens España lo distribuye de forma gratuita, incluso por Internet, LogoSoft permite la programación de forma gráfica sobre un determinado modelo de logo, las principales ventajas que aporta este software con respecto a la programación directa en el aparato son:

- Permite imprimir y visualizar los esquemas programados.
- Permite la simulación, de forma gráfica, para comprobar el funcionamiento del circuito sin estar conectado al Logo, las entradas se pueden definir como pulsadores o interruptores.
- La ayuda es un estupendo manual de usuario en el que se puede aclarar cualquier duda de programación.

3.4.6 *Funciones generales del logo Siemens.*

Figura 24. Funciones básicas del logo Siemens



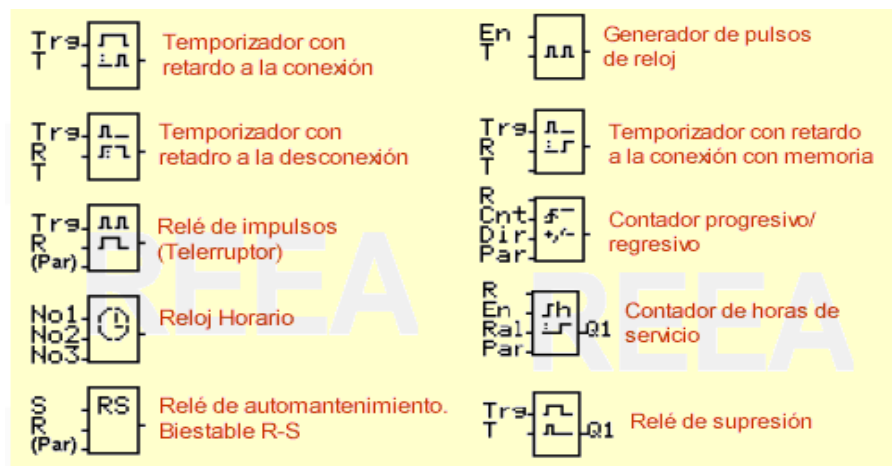
Fuente: <http://olmo.pntic.mec.es/jmarti50/logo/logo.htm>

Las operaciones combinacionales más comunes se realizan con los bloques de funciones básicas, conexión serie, paralelo, negación, etc. Todas las funciones AND, OR, XOR,

NAND y NOR tienen tres entradas y una salida. Si deseamos realizar operaciones con más de tres entradas, se conectan varios bloques en cascada, la función inversora, NOT, tiene una entrada y una salida. La función OR exclusiva (XOR) posee dos entradas y una salida.

3.4.7 Funciones especiales del logo Siemens.

Figura 25. Funciones especiales del logo Siemens



Fuente: <http://olmo.pntic.mec.es/jmarti50/logo/logo.htm>

- Temporizador con retardo a la conexión. Activa la salida Q una vez que ha transcurrido el tiempo programado.
- Temporizador con retardo a la desconexión. Desactiva la salida una vez transcurrido el tiempo programado. El temporizador se pone en marcha en flanco descendente.
- Relé de impulsos. Tiene el mismo funcionamiento que un telerruptor. La salida cambia de estado, de 0 a 1, cada vez que cambia la señal en la entrada Trg.
- Reloj. Permite controlar los instantes de activación y desactivación de la salida en un día de la semana y a una hora determinada con la precisión de un minuto.
- Relé de auto mantenimiento. Función biestable R-S. Permite realizar la función paro-marcha típica de los automatismos a contactores. La situación no permitida R=1 S=1 se soluciona dando preferencia a R.
- Generador de pulsos. Genera pulsos de reloj a intervalos iguales. Funcionamiento similar a un intermitente.

- Temporizador a la conexión con memoria. De funcionamiento similar al temporizador a la conexión, pero con la característica que no es necesario mantener la señal en Trg para que el temporizador funcione.
- Contador de horas de servicio. Permite medir el tiempo que está activada la entrada, esta función solamente se puede utilizar como bloque inicial.(SIEMENS, 2003).

1.5 Tipos de sistemas de iluminación

La iluminación es el efecto principal de atracción que acompaña los diferentes flujos de agua generados. Desde los conocidos halógenos en lámparas dicróicas, y sin olvidar los pequeños LEDS y el avance más reciente de la tecnología la fibra óptica en combinación con los LEDS, permiten una serie de arreglos y tonalidades en colores atractivos, en la mente del ser humano, de igual forma, el poder controlar este tipo de señales luminosas por capacidad de intensidad y frecuencia de encendido de las mismas, las convierten en idóneas para su trabajo en una fuente de agua secuencial.

Por otro lado la combinación de colores, la arquitectura, la ubicación estructural y el direccionamiento de las luces son determinantes en el encanto y atracción, para la creación de la magia secuencial de la fuente de agua.

1.5.1 Iluminación LEDS

1.5.1.1 LED. Un LED no es más que un diodo emisor de luz. Es decir un semiconductor que emite luz policromática al trabajar con diferentes longitudes de onda, cuando está polarizado directamente y está atravesando por él una corriente eléctrica. (EMB, 2007)

Figura 26. LED



Fuente: <http://infoleds.wordpress.com/fotos>

1.5.1.2 LED RGB. Los LEDS RGB son un compuesto de LEDS (red, green, blue), que al variar la intensidad de corriente producen diferentes colores.

Figura 27. LED RGB (rojo, verde, azul)

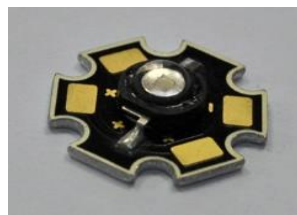


Fuente: <http://notitronicampana.blogspot.com/2012/10/control-de-LED-rgb-usando-pic-16f84a.html>

Hay dos maneras de ir trabajando con los LEDS RGB para poder generar una gama de colores, según las combinaciones de los tres establecidos; variando la intensidad de corriente, mediante resistencias variables que limitan la corriente de los colores (RGB), según la necesidad de combinación para formar otra tonalidad y usando la modulación de ancho de Pulso (PWM), que es la manera más efectiva para manejar los RGB y modular la intensidad de luz y el matiz de colores que se pueden crear. Se varía el ancho de pulso de la alimentación que necesita el LED a una frecuencia alta, que en percepción del ojo humano se toma como colores intrínsecos del RGB.

1.5.1.3 LEDS de alta potencia

Figura 28. LED de alta Potencia



Fuente: Autores

Los LEDS de alta potencia son diseños más completos que incluyen diversas alternativas de ópticas de control del flujo luminoso y se fabrican en potencias mayores a 1 W, este tipo de LEDS se utilizan principalmente en aplicaciones arquitectónicas de iluminación en exteriores e iluminación para calles, iluminación de fuentes de agua, iluminación de piscinas, etc., permitiendo tener más posibilidades de diseño y efectos de color.

1.5.1.4 Motor de luz RGB con LED de 45 watts

Figura 29. Motor de luz RGB con LED de 45 watts



Fuente: Autores

Se trata de un motor controlador de LEDS de alta potencia, que viene programado para lograr una gama de colores de los famosos LED RGB, el motor posee un ventilador para el enfriamiento del mismo debido al calentamiento del LED cuando está en funcionamiento, a este motor se le puede acoplar directamente un LED estándar de alta potencia y al mismo también se puede instalar fácilmente fibra óptica de iluminación para transportar la luz de un lugar a otro.

1.5.2 Iluminación por fibra óptica a través de un LED

1.5.2.1 Fibra óptica para iluminación. EMB. Grupo Editorial menciona que la fibra óptica es un conductor de ondas en forma de filamento, generalmente de vidrio, aunque también puede ser de materiales plásticos. La fibra óptica es capaz de dirigir la luz a lo largo de su longitud usando la reflexión total interna, normalmente la luz es emitida por un láser o LED.

Figura 30. Fibra óptica



Fuente: <http://www.ideo-lighting.com>

Una de las características más destacadas de la fibra óptica es que en todo su trayecto transmite luz y carece de electricidad y de rayos ultravioletas e infrarrojos, se debe a que un extremo de la fibra óptica se conecta en contacto de un emulsor de luz o una lámpara LED sin contacto físico ni eléctrico entre ambos elementos. (EMB, 2007).

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA

4.1 Generalidades

Al finalizar la etapa de diseño y selección de materiales, éste capítulo inicia describiendo detalladamente el proceso de construcción de las partes integrantes del conjunto y consecutivamente se indica los pasos para el acoplamiento e instalación del equipo.

Para cada actividad de transporte, almacenamiento, operación y pruebas del equipo instalado, se tomará en cuenta el cumplimiento de la simbología ASME vigente, de manera que, los procesos estén dentro de los parámetros técnicos, garantizando eficiencia y resultados óptimos.

Tabla 9. Simbología ASME para procesos




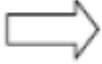



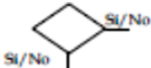



Símbolo	Significado	Para que se utiliza
	Origen	Este símbolo sirve para identificar el paso previo que da origen al proceso, este paso no forma en sí parte del nuevo proceso.
	Operación	Hay una operación cada vez que un documento es cambiado intencionalmente en cualquiera de sus características.
	Inspección	Indica cada vez que un documento o paso del proceso se verifica, en términos de: la calidad, cantidad o características. Es un paso de control dentro del proceso.
	Transporte	Indica cada vez que un documento o equipo se mueve o traslada a otra oficina y/o funcionario.

Tabla 9. (Continuación) Simbología ASME para procesos

	Demora	Indica cuando un documento o el proceso se encuentra detenido, ya que se requiere la ejecución de otra operación o el tiempo de respuesta es lento.
	Almacenamiento	Indica el depósito permanente de un documento o equipo. También se puede utilizar para guardar o proteger, de un traslado no autorizado.
	Almacenamiento Temporal	Indica el depósito temporal de un documento o equipo, mientras se da inicio el siguiente paso.
	Decisión.	Indica un punto dentro del flujo en que son posibles varios caminos alternativos.
	Líneas de Flujo	Conecta los símbolos señalando el orden en que se deben realizar las distintas operaciones.
	Actividades combinadas Operación y Origen.	Las actividades combinadas se dan cuando se simplifican dos actividades en un solo paso. En este caso, esta actividad indica que se inicia el proceso a través de actividad que implica una operación.
	Actividades combinadas Inspección y Operación.	Este caso, indica que el fin principal es efectuar una operación, durante la cual puede efectuarse alguna inspección.

Fuente: <http://www.asme.org>

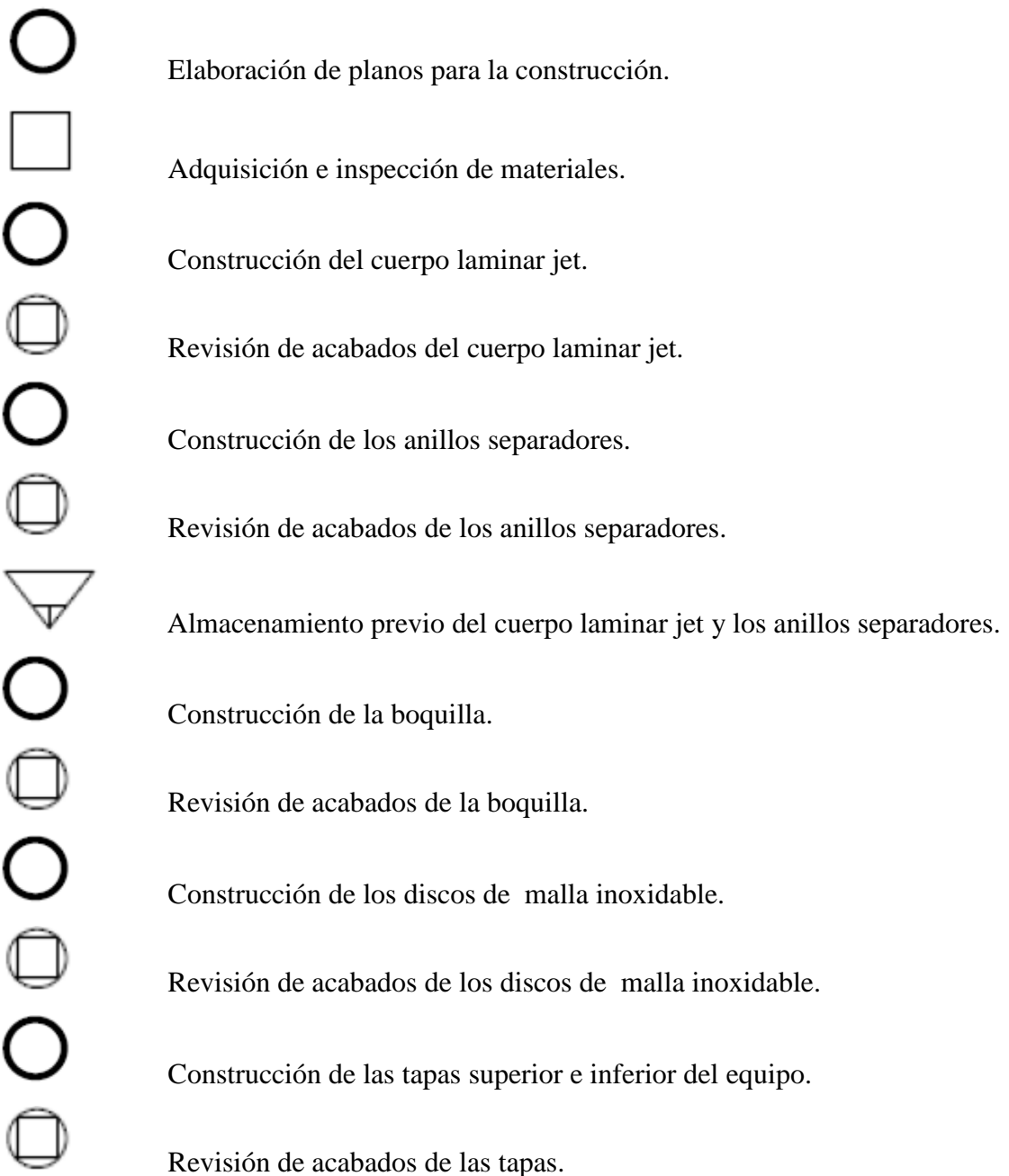
4.2 Actividades previas a la construcción










Elaboración de planos para la construcción. Después de realizar el diseño, se selecciona los materiales y accesorios, se elaboran los planos de construcción, que no es otra cosa que, un conjunto de figuras a escala en los cuales se detallan todas las medidas necesarias.

Requerimiento de materiales y equipos. Con la ayuda de los planos es posible estimar la cantidad de material e insumos a utilizarse en la construcción de las partes del generador de agua de flujo laminar.

Recepción del material. El material adquirido es inspeccionado para descartar fallas, y es almacenado en la bodega del lugar destinado a la construcción.

4.3 Diagrama de proceso general de construcción



	Acoplamiento del equipo laminar jet.
	Instalación del dispositivo de iluminación.
	Almacenamiento previo del equipo laminar jet.
	Inspección del lugar de instalación.
	Acoplamiento del equipo laminar jet a la estructura.
	Diseño y armado del tablero de control eléctrico.
	Transporte del tablero de control al sitio de instalación.
	Instalación del tablero de control.
	Puesta en marcha y control de funcionamiento.

4.4 Descripción del proceso de construcción de cada elemento del equipo laminar jet

4.4.1 Construcción del cuerpo laminar jet. El cuerpo fue construido con tubería de PVC, mediante operaciones de corte, taladrado y lijado. Sus medidas generales se indican en el plano FM-EIM-LJI-D-001-5F1- 2014.

Figura 31. Cuerpo laminar jet



Fuente: Autores

Procedimiento.



Cortar el tubo de PVC según medidas que indica el plano FM-EIM-LJI-D-001-5F1- 2014.



Verificar la precisión del corte.



Taladrar un orificio tangencial de 2 in de diámetro en la parte baja del tubo.



Lijar las partes trabajadas con las herramientas.



Inspeccionar los acabados del cuerpo laminar jet.

Indicadores.

- Equipo y herramientas utilizadas: Flexómetro, rayador, arco de sierra y un taladrador.
- Material utilizado: Tubo de PVC de 8 pulgadas de diámetro de 400 mm de longitud y 10 mm de espesor.
- Consumos adicionales: hoja de sierra diente fino para metal y un acoplamiento de broca de 2 in para el agujero de la toma de agua.

4.4.2 Construcción de los anillos separadores. Los anillos separadores al igual que el cuerpo laminar jet fueron contruidos del tubo de PVC para evitar gastos en otros materiales, mediante operaciones de corte y pulido. Sus medidas generales se indican en el plano FM-EIM-LJI-D-001-5E4- 2014.

Figura 32. Anillos separadores



Fuente: Autores

Procedimiento.



Cortar el tubo de PVC en forma de anillos de las medidas especificadas en el plano FM-EIM-LJI-D-001-5E4- 2014.



Verificar la precisión del corte.



Esmerilar las superficies trabajadas con la herramienta de corte.



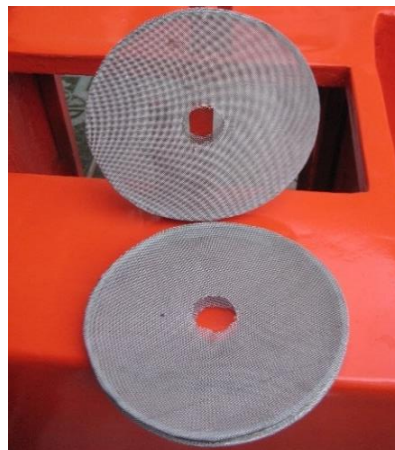
Inspeccionar los acabados de los anillos separadores.

Indicadores.

- Equipo y herramientas utilizadas: Flexómetro, rayador, arco de sierra y un esmerilador.
- Material utilizado: Tubo de PVC de 8 pulgadas de diámetro de 200 mm de longitud y 10 mm de espesor.
- Consumos adicionales: hoja de sierra diente fino para metal.

4.4.3 Construcción de los discos de malla inoxidable. Los discos de malla inoxidable fueron contruidos en malla de alambre de acero inoxidable y sus contornos de chapa de acero inoxidable, mediante operaciones de corte, doblado, templado y remachado.

Figura 33. Discos de malla inoxidable



Fuente: Autores

Procedimiento.



Cortar la malla en forma de círculos de la medida especificada en el plano FM-EIM-LJI-D-001-5D3- 2014.



Cortar la chapa de acero inoxidable.



Doblar la chapa de acero inoxidable y formar el cuerpo que contendrá la malla inoxidable.



Templar la malla en el cuerpo formado de la chapa de acero inoxidable.



Cubrir los alrededores de los discos con retazos de chapa inoxidable para garantizar la templabilidad de la malla.



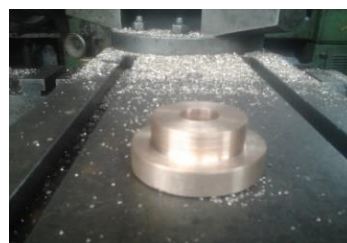
Taladrar un agujero central en el disco de $\frac{3}{4}$ de in.

Indicadores.

- Equipo y herramientas utilizadas: Flexómetro, rayador, tijeras para metal, martillo, alicate, remachadora y un taladrador.
- Material utilizado: malla de alambre inoxidable y chapa de acero inoxidable.

4.4.4 *Construcción de la boquilla o tobera.* La tobera fue fabricada en su totalidad en un eje de cobre fosfórico, mediante operaciones de corte, maquinado, refrentado y torneado. Sus medidas generales se indican en el plano FM-EIM-LJI-D-001-5C2- 2014.

Figura 34. Boquilla



Fuente: Autores

Procedimiento.



Rectificar en el torno el diámetro del eje de bronce fosfórico.



Tornear hasta conseguir la forma de la boquilla.



Cortar la boquilla de la medida especificada, considerando las dimensiones y forma que indica el plano FM-EIM-LJI-D-001-5C2- 2014.



Verificar que las dimensiones de la pieza estén dentro de un rango de aceptabilidad.

Indicadores.

- Equipo y herramientas utilizadas: Flexómetro, rayador, torno, herramienta de corte (cuchilla), arco de sierra y calibrador pie de rey.
- Material utilizado: Eje de bronce fosfórico de 2 pulgadas de diámetro de 100 milímetros de longitud.
- Consumos adicionales: Hoja de sierra diente fino para metal y una broca de 1/2 in para el agujero central.

4.4.5 *Construcción de las tapas superior e inferior del equipo laminar jet.* Las tapas superior e inferior fueron construidas en su totalidad de aluminio fundido, mediante operaciones de maquinado, refrentado, torneado, taladrado y pulido. Sus medidas generales se indican en el plano FM-EIM-LJI-D-001-5D7- 2014 y FM-EIM-LJI-D-001-5F6- 2014.

Figura 35. Tapas superior e inferior



Fuente: Autores

Procedimiento.



Refrentar las caras de las placas de aluminio hasta alcanzar las dimensiones especificadas en el plano FM-EIM-LJI-D-001-5D7- 2014.



Tornear hasta conseguir la forma deseada de las tapas.



Taladrar todos los orificios necesarios en las tapas.



Verificar que las dimensiones de las tapas estén dentro de un rango de aceptabilidad.

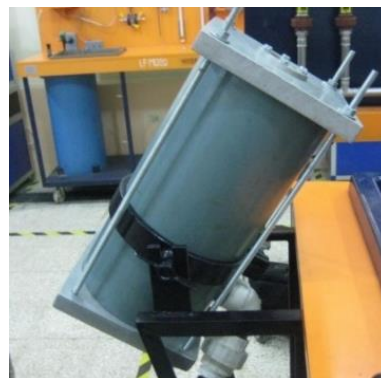
Indicadores.

- Equipo y herramientas utilizadas: Flexómetro, rayador, torno, herramienta de corte (cuchilla), amoladora y calibrador pie de rey.
- Material utilizado: Placas de aluminio fundido de 225x225x28 milímetros.
- Consumos adicionales: Brocas de $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, de pulgada.

2.2 Ensamble del equipo laminar jet

Todos los componentes antes mencionados son acoplados e instalados para su respectivo funcionamiento.

Figura 36. Ensamblaje del equipo laminar jet



Fuente: Autores

2.3 Ensamble del equipo laminar jet - estructura

El equipo laminar jet es instalado a la estructura mediante una brida instalada en el cuerpo del mismo y acoplado con dos tuercas tipo mariposa para dar apriete y garantizar el ángulo deseado del equipo.

Figura 37. Ensamblaje del equipo laminar jet - estructura



Fuente: Autores

2.4 Diseño y ensamble del tablero de control

El tablero de control de contiene en su interior los elementos y conexiones necesarias para el control del equipo, ha sido diseñado específicamente para albergar de manera segura dispositivos eléctricos y electrónicos se encuentra ubicado en la parte frontal de la estructura.

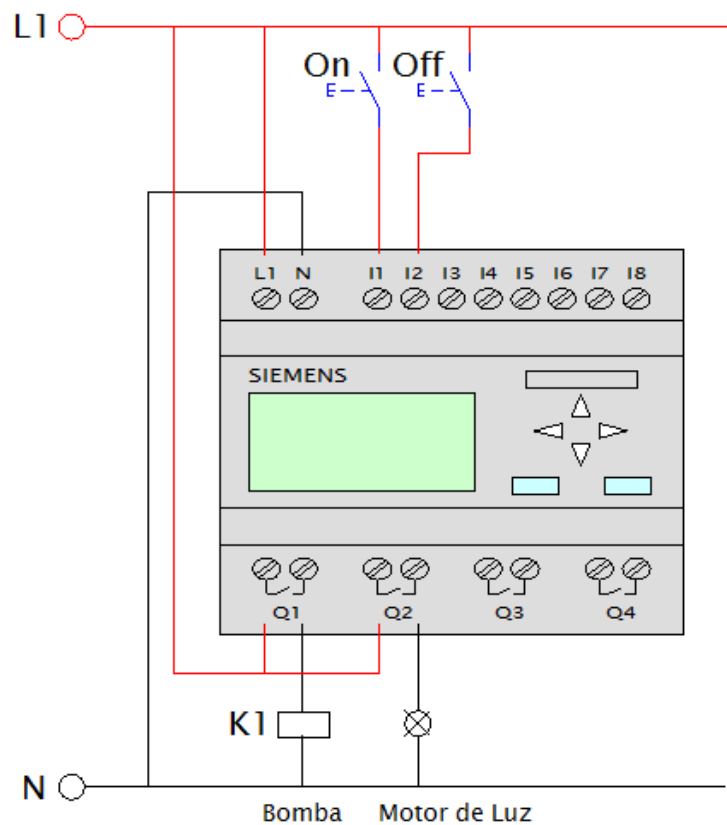
2.5 Diagrama del circuito de control

El diagrama de circuito de control fue elaborado en el software de diseño de circuitos eléctricos y electrónicos Proficad, que permite simular esquemas de cableado y conexiones eléctricas, como es el caso de las conexiones y cableado del logo Siemens con los materiales eléctricos utilizados para el funcionamiento del equipo laminar jet, para la elaboración de este esquema del circuito de cableado del logo siemens se utilizó las conexiones a línea 1-neutro para la suministración de energía al Logo, dos pulsadores On y Off para el encendido y apagado del equipo, y un contactor K1 de 10 amperios

conectado a las salida Q1, y para la conexión del motor de luz se realiza directo, ya que el amperaje del motor de luz es mínimo de 0,4 amperios.

Además el logo Siemens puede soportar en sus bornes de salida como máximo hasta diez amperios, y por ende se conecta directo a la salida Q2 del Logo, para el control de apagado o encendido de la bomba y el motor de luz, en la siguiente figura se presenta el cableado del diagrama del circuito de control basado en la norma IEC 1082-1 de estandarización de esquemas:

Figura 38. Diagrama del circuito de control

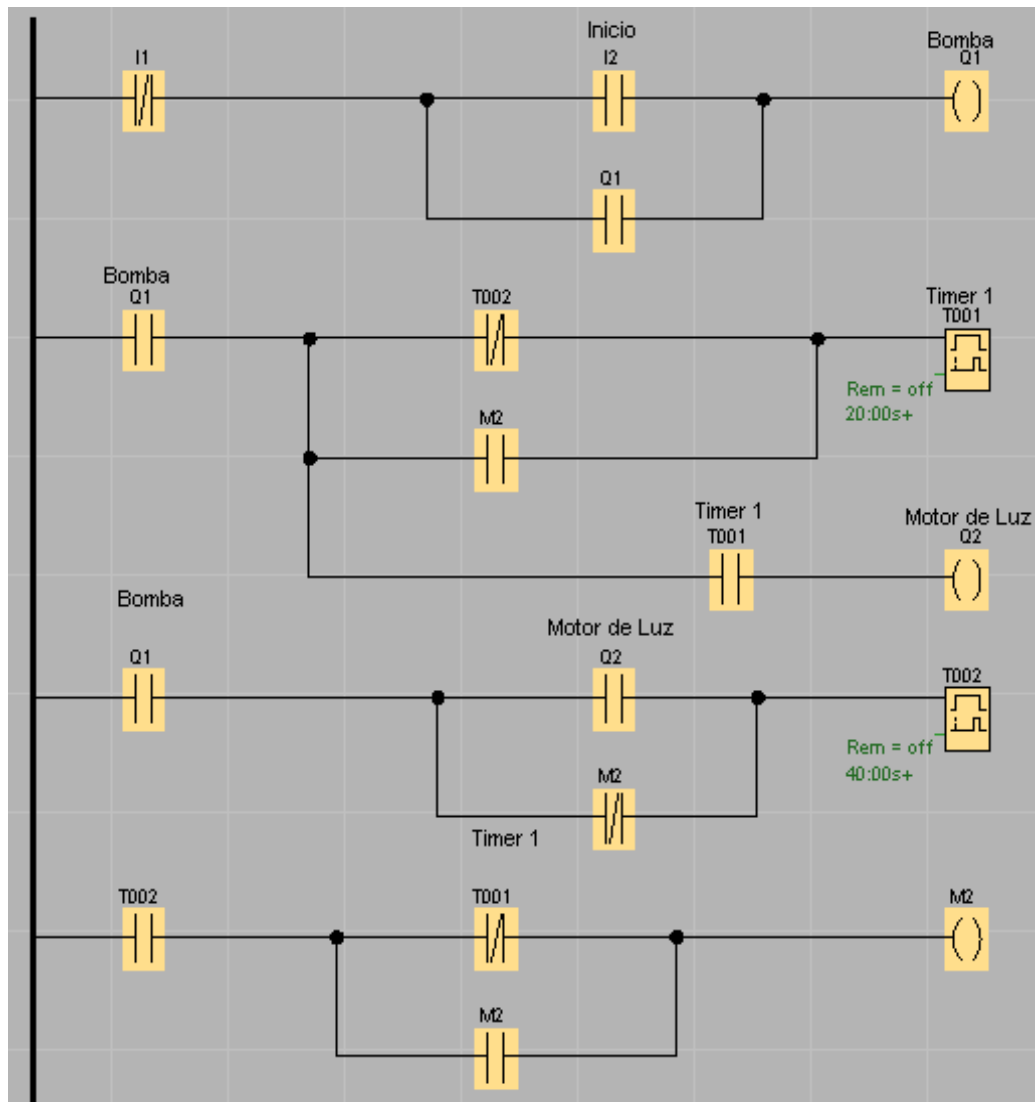


Fuente: Autores

2.6 Esquema de programación del logo Siemens

La programación del Logo Siemens se realiza directamente en la pantalla y también en el software de simulación Logo Soft Confort que se puede programar mediante puertas lógicas y el más conocido y utilizado mediante contactos que es el diagrama lader o escalera como se puede apreciar en la Figura 39.

Figura 39. Esquema de programación del logo Siemens



Fuente: Autores

Mediante el contacto cerrado I1 se representa al pulsador Off, el mismo que sirve para desenergizar todo el circuito eléctrico, I2 es el pulsador de inicio del sistema, será el encargado de suministrar energía eléctrica para el funcionamiento de la bomba, la cual estará encendida durante todo el tiempo hasta que el usuario lo decida. Después de un cierto tiempo dado y programado en el temporizador T1, se encenderá el motor de Luz para la iluminación del chorro laminar, el mismo que cambia de colores después de intervalos de tiempo programados en milisegundos en el temporizador T2. Esto quiere decir que el chorro laminar en un determinado tiempo funcionará sin acompañamiento de iluminación, para posterior de un tiempo se ilumine toda la trayectoria del chorro laminar alternando sus colores.

CAPÍTULO V

3. ANÁLISIS DE COSTOS

5.1 Introducción

Se conoce al análisis de costos como un proceso de identificación de los recursos necesarios para llevar a cabo un proyecto, determinando la cantidad de recursos necesarios y los gastos previstos.

En la resolución de este proyecto se evaluarán los gastos realizados desde el diseño hasta la culminación de la construcción y montaje del sistema de generación de agua de flujo laminar iluminado, a continuación se presentan tablas en las que se especifican los costos directos e indirectos del proyecto, las mismas que servirán para saber el monto invertido durante la construcción y puesta en marcha de ésta tesis, para lo cual se detallará el valor del costo de cada elemento del cual están constituidos el dispositivo laminar jet.

5.2 Costos directos

Los costos que intervienen directamente en el proyecto son los dados por materiales, transporte y mano de obra del proyecto.

Tabla 10. Costos de materiales para el equipo laminar jet

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	V. Unitario	V. Total
1	Tubo de PVC de alta presión de 8 in de diámetro de 10 mm de espesor.	6m	1	250,00	250,00
2	Placas de aluminio fundido de 225x225x28 mm.	Unidad	2	30,00	60,00
3	Malla de alambre inoxidable mesh 250	M	2	27,50	55.00

Tabla 10. (Continuación) Costos de materiales para el equipo laminar jet

4	Plancha de acero inox. 0,5 mm	Unidad	1	30,00	30,00
5	Varilla roscada M10	2m	1	8,60	8,60
6	Tuercas de seguridad para para varilla roscada	Unidad	8	0,52	4,16
7	Pernos cabeza interior hexagonal M8	Unidad	6	0,45	2,70
8	Eje de bronce fosfórico de 2 in	10cm	1	50,00	50,00
9	Adaptador hembra 1 ¼ in	Unidad	1	0,80	0,80
10	Adaptador macho 1 ¼ in	Unidad	1	0,80	0,80
11	Manguera flexible 1 in	M	1	7,00	7,00
12	Unión universal 1 ¼ in	Unidad	1	3,70	3,70
Total(+IVA)					472.76

Fuente: Autores

Tabla 11. Costo de mariales para el sistema de impulsión del agua

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	V. Unitario	V. Total
1	Bomba 1 Hp. de caudal	Unidad	1	90,00	90,00
2	Válvula de pie 1 in	Unidad	1	5,00	5,00
3	Válvula de compuerta	Unidad	1	7,50	7,50
4	Codo de 90°	Unidad	2	0.75	1,50
5	Unión universal 1 ¼ in	unidad	1	3,70	3,70
6	Neplo corrido 1 ¼ in	Unidad	1	0,80	0,80
Total(+IVA)					108,50

Fuente: Autores.

Tabla 12. Costo de mariales eléctricos, electrónico y de control de funcionamiento

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	V. Unitario	V. Total
1	Logo Siemens	Unidad	1	120,00	120,00
2	Gabinete metálico 25x25x15 doble fondo 307211	Unidad	1	15,00	15,00
3	Pulsador CSC 22mm verde FPB–EA1.	Unidad	1	2,20	2,20
4	Pulsador CSC 22mm rojo FPB–EA2	Unidad		2,20	2,20
5	Motor de luz LED de 45 W RGB con control remoto.	Unidad	1	80,00	80,00
6	Fibra óptica PMMA con recubrimiento de PVC negro de 4mm de diámetro.	M	50	2,40	120
7	LEDs indicadores rojo y verde	Unidad	2	0,60	1,20
Total(+IVA)					340,60

Fuente: Autores

Tabla 13. Costo de mariales extra

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	V. Unitario	V. Total
1	Cemento de contacto	Unidad	2	1,15	2,30
2	Teflón	Unidad	4	0,40	1,60
3	Cinta adhesiva para uniones	Unidad	2	0,45	0,90
4	Adhesivo instantáneo súper bonder	Unidad	1	2,20	2,20
5	Electrodos AGA 6011	lb	5	1,10	5,50
6	Barra de silicona	unidad	2	2,20	4,40
7	Remaches	Lb	2	1,80	2,60
8	Pintura azul esmalte	unidad	1	6,00	6,00
Total(+IVA)					25,50

Fuente: Autores

El valor total de los costos por materiales se calcula en la siguiente tabla.

Tabla 14. Costo de mariales

Denominación	V. Total(+IVA)
Costos de materiales para el equipo laminar jet.	472,76
Costo de mariales para el sistema de impulsión del agua.	108,50
Costo de mariales eléctricos, electrónico y de control de funcionamiento.	340,60
Costo de mariales extra.	25,50
Total costo de materiales	947,36

Fuente: Autores

Tabla 15. Costo de envío y transporte

Denominación	Descripción	V. total
Envío de la fibra óptica y LEDs de alta potencia.	SHENZHEN IDEE LIGHTING CO. LIMITED- China-Guayaquil – Riobamba	300,00
Transporte equipo.	Taller mecánico – ESPOCH	10,00
Total costo de envío y transporte		310,00

Fuente: Autores

Tabla 16. Costo de mano de obra

Denominación	Descripción	V. total
Técnico de tornero.	Torneado de las tapas superior e inferior y boquilla.	240,00
Hojalatero.	Construcción de los discos de malla metálica.	120,00
Mecánico.	Construcción de la estructura de acople.	30,00
Total costo de mano de obra		390,00

Fuente: Autores

Tabla 17. Costos directos

Denominación	V. Total
Costos de materiales.	947,36
Costos de envío y transporte.	310,00
Costo de mano de obra.	390,00
Total costos directos	1647,36

Fuente: Autores

5.3 Costos indirectos

Se consideran como costos indirectos los dados por: ingeniería del proyecto (del 10 al 15% del costo directo del proyecto), herramientas utilizadas (se estima el 5% del costo total de las herramientas utilizadas), imprevistos y utilidades.

Tabla 18. Costos indirectos

Denominación	V. Total
Costos por ingeniería.	197,00 (del 12% del costo directo)
Costos por herramientas utilizadas.	0
Costo por imprevistos.	50,00
Total costos indirectos	247,00

Fuente: Autores

Finalmente el costo total por el diseño y construcción del equipo se observa en la tabla 19. (Mil ochocientos noventa y cuatro con 36/100).

Tabla 19. Costo total del equipo

Denominación	V. Total
Costos directos	1647,36
Costos indirectos	247,00
COSTO TOTAL DEL EQUIPO	USD: 1894,36

Fuente: Autores

CAPÍTULO VI

6. FASE EXPERIMENTAL Y MANUAL DE MANTENIMIENTO

6.1 Fase experimental

En fase experimental se verificará la funcionalidad y eficacia que tiene el equipo, por lo que se presentará el desarrollo y análisis de dos tipos de experimentaciones:

- Velocidad inicial y final del chorro de agua variando el ángulo de posición.
- Altura y distancia máxima del chorro de agua variando el ángulo de posición.

Los resultados experimentales, serán comparados con los datos teóricos que se obtuvieron en el Capítulo III.

6.2 Puesta en marcha del equipo

Para encender el equipo y siguiendo el procedimiento de puesta en marcha, se selecciona el programa a poner en marcha pulsando ON para comenzar, teniendo las precauciones de antes del encendido verificar que la válvula de compuerta no esté en su totalidad abierta.

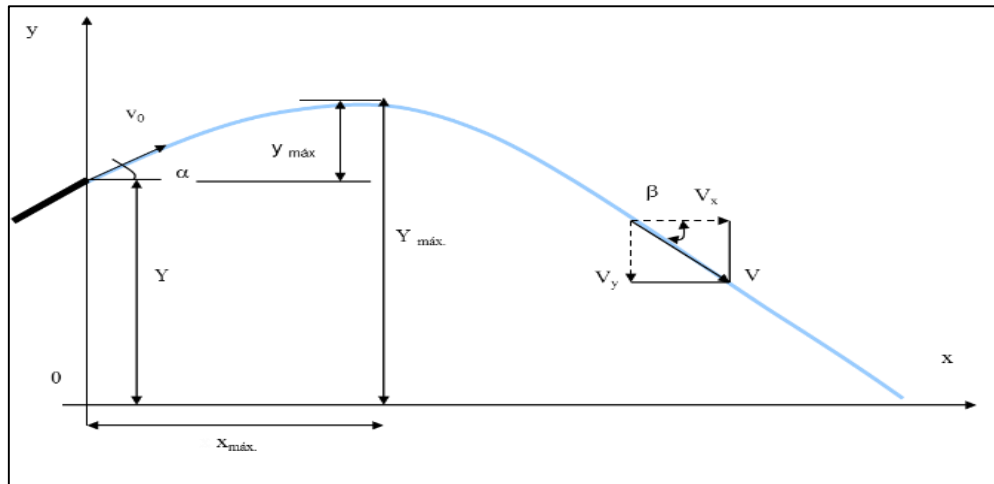
Después del encendido se deberá regular la válvula hasta alcanzar un caudal de 30 litros por minuto, el mismo que se ha seleccionado para todas las experimentaciones realizadas, debido a que si se sobrepasa el caudal antes mencionado el chorro de cristal también excederá sus dimensiones logrando rebasar el límite del reservorio, esto será un limitante como para poder comprobar con los datos de diseño.

6.3 Cálculo de la velocidad inicial y final del chorro de agua

Las experimentaciones se realizaron bajo el siguiente sistema de ejes de referencia (x,y) donde existe un X_{max} = alcance máximo, Y_{max} = altura máxima, Y posición desde la

boquilla hasta el nivel de referencia del agua, tendrá un Angulo de inclinación a salida y llegada.

Figura 40. Sistema de ejes de referencia empleado en las ecuaciones de la trayectoria parabólica de un chorro



Fuente: Autores

6.3.1 Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 85^\circ$; $Q = 30\text{Lt/min}$

Alcance $x = 1,08\text{m} \therefore$ Altura $y_{máx} = 0,98\text{m} \rightarrow$ Datos experimentales.

$$y_0 = 0,2\text{m}$$

$$g = 9.81\text{m/s}^2.$$

Velocidad del chorro laminar a la salida de la boquilla (experimental).

$$Q = v_0 * A, [m^3/s]$$

$$A = \left(\frac{\pi}{4}\right) * \left(\frac{d}{1000}\right)^2, [m^2]$$

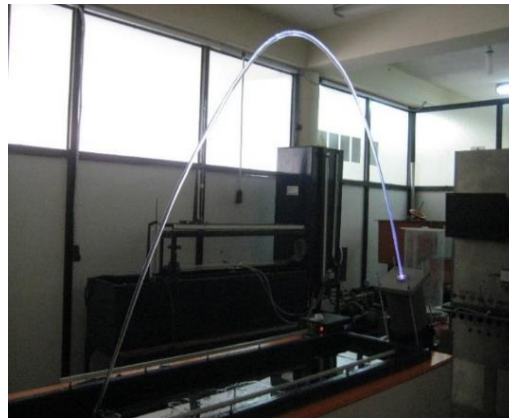
$$A = \left(\frac{\pi}{4}\right) * \left(\frac{15\text{mm}}{1000}\right)^2 = 1,77 \times 10^{-4} m^2$$

Para todas las posiciones del equipo la velocidad inicial experimental es:

$$v_0 = \frac{Q}{A} = \frac{5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{1,77 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$v_0 = 2.83 \text{ m/s}$$

Figura 41. Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 85^\circ$



Fuente: Autores.

Velocidad del chorro laminar a la salida de la boquilla (teórico).

$$v_0 = \frac{x}{\cos \alpha_0} * \sqrt{\frac{g}{2(x \tan \alpha_0 - y_0)}}$$

$$v_0 = \frac{1,08 \text{ m}}{\cos 85^\circ} * \sqrt{\frac{9,81 \text{ m/s}^2}{2(1,08 \text{ m} * \tan 85^\circ - (-0.2 \text{ m}))}}$$

$$v_0 = 7,75 \text{ m/s}$$

Caudal teórico.

$$Q_t = v_0 * A, [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$Q_t = 7,75 \text{ m/s} * 1,77 \times 10^{-4} \text{ m}^2 [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$Q_t = 1,37 \times 10^{-3} [m^3/s] = 82.2 [Lt/min]$$

Velocidad al final del trayecto del chorro laminar.

$$v_f = \sqrt{(v_0 \cos \alpha_0)^2 + (v_0 \sin \alpha_0 + \sqrt{2gy_0})^2}$$

$$v_f = \sqrt{(7,75m/s * \cos 85^\circ)^2 + (7,75m/s * \sin 85^\circ + \sqrt{2 * (-9,81m/s^2) * (-0.2m)})^2}$$

$$v_f = \sqrt{(7,75m/s * \cos 85^\circ)^2 + (7,75m/s * \sin 85^\circ + \sqrt{2 * 9,81m/s^2 * 0.2m})^2}$$

$$v_f = 9,72m/s$$

Altura que alcanza el chorro laminar.

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0}{2g}$$

$$h = \frac{(7,75m/s)^2 \sin^2 85^\circ}{2 * 9.81m/s^2} = 3m.$$

Para saber la altura total que alcanza el chorro, se tendrá que sumar al valor anterior la altura que está ubicada la boquilla con respecto al nivel de agua en reposo.

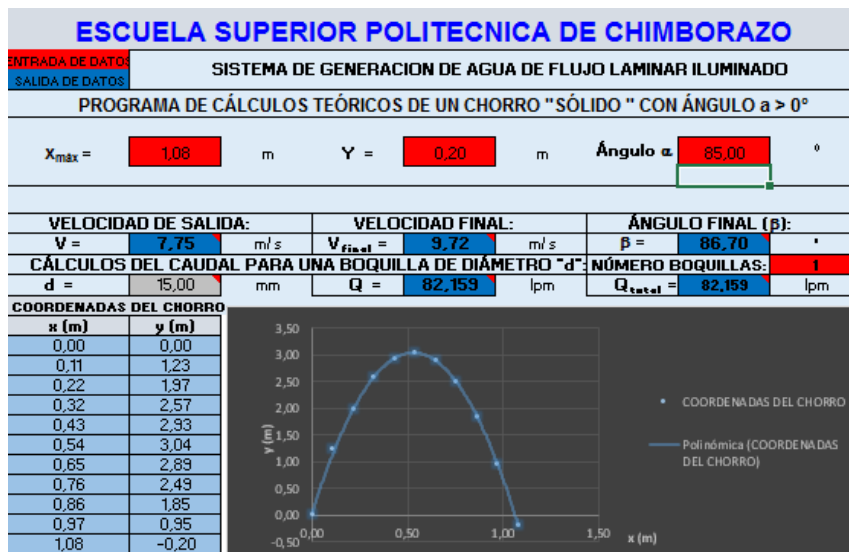
$$y_{max} = h + y_0$$

$$y_{max} = 3m + 0,2$$

$$y_{max} = 3,2m.$$

Para graficar la forma de la trayectoria del chorro se obtiene las coordenadas de cada punto con la ayuda de un pequeño programa realizado en el software Microsoft Excel.

Figura 42. Comparación de resultados y forma de la trayectoria del chorro laminar con un ángulo de posición de 85°



Fuente: Autores

6.3.2 Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 75^\circ$; $Q = 30\text{Lt/min}$

Alcance $x = 1,68\text{m}$ \therefore Altura $y_{\max} = 0,73\text{m}$ \rightarrow Datos experimentales.

$$y_0 = 0,2\text{m}$$

$$g = 9.81\text{m/s}^2.$$

Figura 43. Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 75^\circ$



Fuente: Autores

Velocidad del chorro laminar a la salida de la boquilla (teórico).

$$v_0 = \frac{x}{\cos \alpha_0} * \sqrt{\frac{g}{2(x \tan \alpha_0 - y_0)}}$$

$$v_0 = \frac{1,68m}{\cos 75^\circ} * \sqrt{\frac{9,81m/s^2}{2(1,68m * \tan 75^\circ - (-0.2m))}}$$

$$v_0 = 5,65 m/s$$

Caudal teórico.

$$Q_t = v_0 * A, [m^3/s]$$

$$Q_t = 5.65 m/s * 1,77 \times 10^{-4} m^2 [m^3/s]$$

$$Q_t = 1 \times 10^{-3} [m^3/s] = 60 [Lt/min]$$

Velocidad al final del trayecto del chorro laminar.

$$v_f = \sqrt{(v_0 \cos \alpha_0)^2 + (v_0 \sin \alpha_0 + \sqrt{2gy_0})^2}$$

$$v_f = \sqrt{(5,65m/s * \cos 75^\circ)^2 + (5,65m/s * \sin 75^\circ + \sqrt{2 * (-9,81m/s^2) * (-0.2m)})^2}$$

$$v_f = 7,58m/s$$

Altura que alcanza el chorro laminar.

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0}{2g}$$

$$h = \frac{\left(\frac{5,65m}{s}\right)^2 \sin^2 75^\circ}{2 * \frac{9.81m}{s^2}} = 1,5m.$$

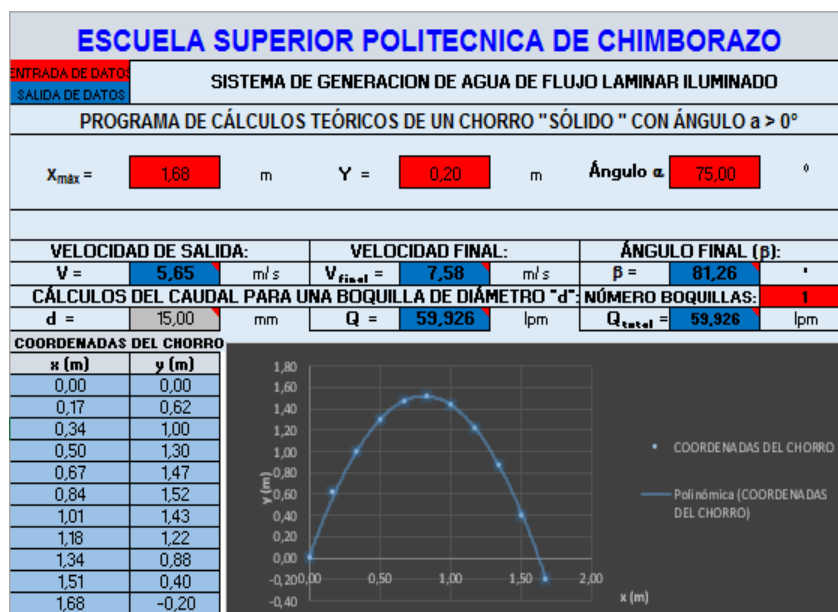
Para saber la altura total que alcanza el chorro, se tendrá que sumar al valor anterior la altura que está ubicada la boquilla con respecto al nivel de agua en reposo.

$$y_{max} = h + y_0$$

$$y_{max} = 1,5m + 0,2$$

$$y_{max} = 1,7m.$$

Figura 44. Comparación de resultados y forma de la trayectoria del chorro laminar con un ángulo de posición de 75°



Fuente: Autores

6.3.3 Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 60^\circ$; $Q = 30\text{Lt/min}$

Alcance $x = 1,76m \therefore$ Altura $y_{m\acute{a}x} = 0,6m \rightarrow$ Datos experimentales.

$$y_0 = 0,2m \therefore g = 9.81m/s^2.$$

Figura 45. Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 60^\circ$



Fuente: Autores

Velocidad del chorro laminar a la salida de la boquilla (teórico).

$$v_0 = \frac{x}{\cos \alpha_0} * \sqrt{\frac{g}{2(x \tan \alpha_0 - y_0)}}$$

$$v_0 = 4,33 \text{ m/s}$$

Caudal teórico.

$$Q_t = v_0 * A, [m^3/s]$$

$$Q_t = 4.33 \text{ m/s} * 1,77 \times 10^{-4} \text{ m}^2 [m^3/s]$$

$$Q_t = 7.7 \times 10^{-4} [m^3/s] = 45.98 [Lt/min]$$

Velocidad al final del trayecto del chorro laminar.

$$v_f = \sqrt{(v_0 \cos \alpha_0)^2 + (v_0 \sin \alpha_0 + \sqrt{2gy_0})^2}$$

$$v_f = \sqrt{(4,33 \text{ m/s} * \cos 60^\circ)^2 + (4,33 \text{ m/s} * \sin 60^\circ + \sqrt{2 * (-9,81 \text{ m/s}^2) * (-0.2 \text{ m})})^2}$$

$$v_f = 6,12 \text{ m/s}$$

Altura que alcanza el chorro laminar.

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0}{2g}$$

$$h = \frac{\left(\frac{4,33m}{s}\right)^2 \sin^2 60^\circ}{2 * \frac{9.81m}{s^2}}$$

$$h = 0,7m.$$

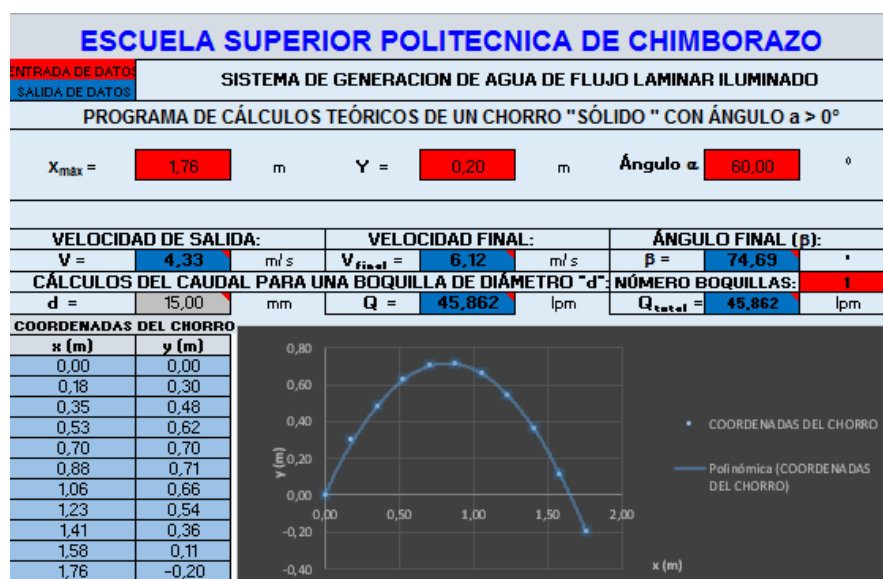
Para saber la altura total que alcanza el chorro, se tendrá que sumar al valor anterior la altura que está ubicada la boquilla con respecto al nivel de agua en reposo.

$$y_{max} = h + y_0$$

$$y_{max} = 0,7m + 0,2$$

$$y_{max} = 0,9m.$$

Figura 46. Comparación de resultados y forma de la trayectoria del chorro laminar con un ángulo de posición de 60°.



Fuete: Autores.

6.3.4 Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 45^\circ$; $Q = 30\text{Lt/min}$

Figura 47. Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 45^\circ$



Fuente: Autores

Alcance $x = 1,7\text{m}$ \therefore Altura $y_{\text{máx}} = 0,48\text{m}$ \rightarrow Datos experimentales.

$$y_0 = 0,2\text{m}$$

$$g = 9.81\text{m/s}^2.$$

Velocidad del chorro laminar a la salida de la boquilla (teórico).

$$v_0 = \frac{x}{\cos \alpha_0} * \sqrt{\frac{g}{2(x \tan \alpha_0 - y_0)}}$$

$$v_0 = \frac{1,7\text{m}}{\cos 45^\circ} * \sqrt{\frac{9,81\text{m/s}^2}{2(1,7\text{ m} * \tan 45^\circ - (-0.2\text{m}))}}$$

$$v_0 = 3,86\text{ m/s}$$

Caudal teórico.

$$Q_t = v_0 * A, [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$Q_t = 3.86\text{ m/s} * 1,77 \times 10^{-4} \text{m}^2 [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$Q_t = 6.8 \times 10^{-4} [m^3/s] = 40.99 [Lt/min]$$

Velocidad al final del trayecto del chorro laminar.

$$v_f = \sqrt{(v_0 \cos \alpha_0)^2 + (v_0 \sin \alpha_0 + \sqrt{2gy_0})^2}$$

$$v_f = \sqrt{(3,86 \text{ m/s} * \cos 45^\circ)^2 + (3,86 \text{ m/s} * \sin 45^\circ + \sqrt{2 * (-9,81 \text{ m/s}^2) * (-0.2 \text{ m})})^2}$$

$$v_f = \sqrt{(3,86 \text{ m/s} * \cos 45^\circ)^2 + (3,86 \text{ m/s} * \sin 45^\circ + \sqrt{2 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0.2 \text{ m}})^2}$$

$$v_f = 4,45 \text{ m/s}$$

Altura que alcanza el chorro laminar.

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0}{2g}$$

$$h = \frac{(3,86 \text{ m/s})^2 \sin^2 45^\circ}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h = 0,4 \text{ m.}$$

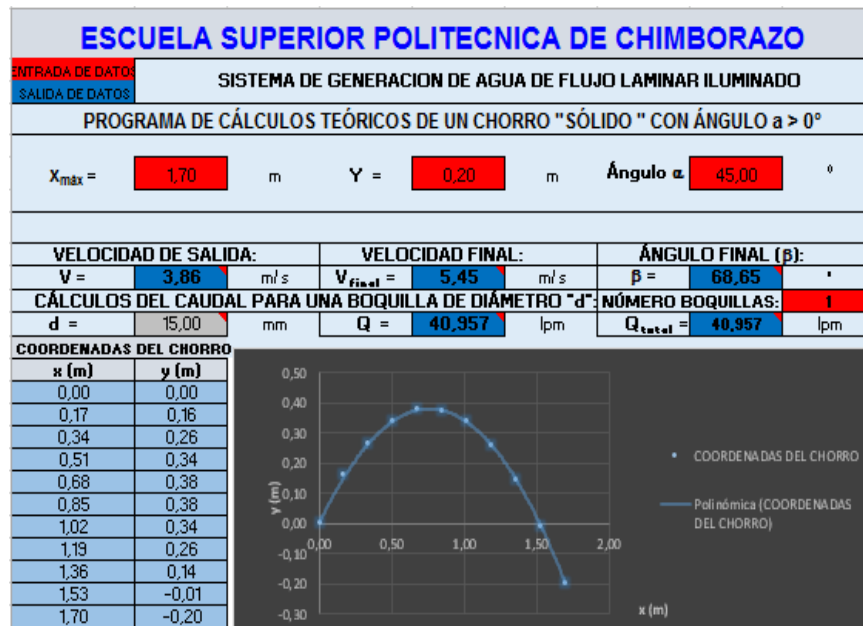
Para saber la altura total que alcanza el chorro, se tendrá que sumar al valor anterior la altura que está ubicada la boquilla con respecto al nivel de agua en reposo.

$$y_{max} = h + y_0$$

$$y_{max} = 0,4 \text{ m} + 0,2$$

$$y_{max} = 0,6 \text{ m.}$$

Figura 48. Comparación de resultados y forma de la trayectoria del chorro laminar con un ángulo de posición de 45°



Fuente: Autores

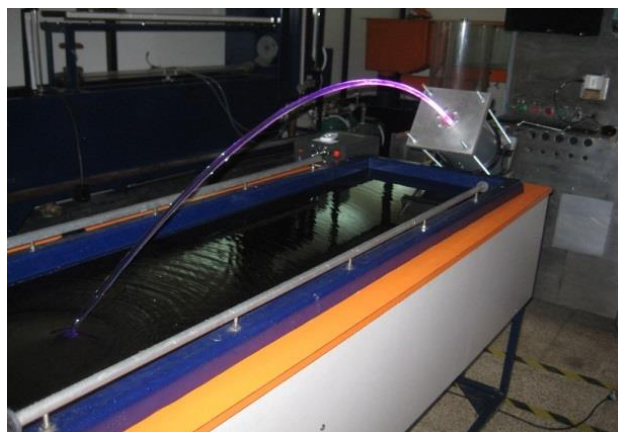
6.3.5 Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 30^\circ$; $Q = 30 \text{ Lt/min}$

Alcance $x = 1,5 \text{ m} \therefore$ Altura $y_{\max} = 0,34 \text{ m} \rightarrow$ Datos experimentales

$$y_0 = 0,2 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2.$$

Figura 49. Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 30^\circ$



Fuente: Autores

Velocidad del chorro laminar a la salida de la boquilla (teórico).

$$v_0 = \frac{x}{\cos \alpha_0} * \sqrt{\frac{g}{2(x \tan \alpha_0 - y_0)}}$$

$$v_0 = \frac{1,5m}{\cos 30^\circ} * \sqrt{\frac{9,81m/s^2}{2(1,5m * \tan 30^\circ - (-0,2m))}}$$

$$v_0 = 3,72 m/s$$

Caudal teórico.

$$Q_t = v_0 * A, [m^3/s]$$

$$Q_t = 3,72 m/s * 1,77 \times 10^{-4} m^2 [m^3/s]$$

$$Q_t = 6,6 \times 10^{-4} [m^3/s]$$

$$Q_t = 39,5 [Lt/min]$$

Velocidad al final del trayecto del chorro laminar.

$$v_f = \sqrt{(v_0 \cos \alpha_0)^2 + (v_0 \sin \alpha_0 + \sqrt{2gy_0})^2}$$

$$v_f = \sqrt{(3,72 m/s * \cos 30^\circ)^2 + \left(3,72 \frac{m}{s} * \sin 30^\circ + \sqrt{2 * (-9,81m/s^2) * (-0,2m)}\right)^2}$$

$$v_f = \sqrt{(3,72 m/s * \cos 30^\circ)^2 + \left(3,72 m/s * \sin 30^\circ + \sqrt{2 * 9,81m/s^2 * 0,2m}\right)^2}$$

$$v_f = 5m/s$$

Altura que alcanza el chorro laminar.

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0}{2g}$$

$$h = \frac{(3,72\text{m/s})^2 \sin^2 30^\circ}{2 * 9.81\text{m/s}^2}$$

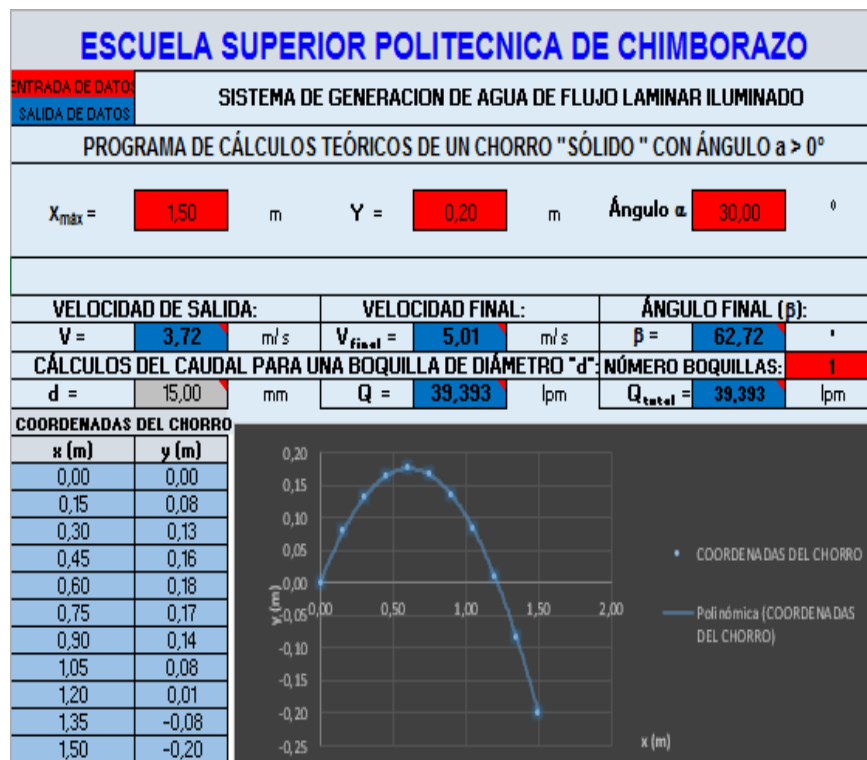
$$h = 0,17\text{m}.$$

$$y_{\max} = h + y_0$$

$$y_{\max} = 0,17\text{m} + 0,2$$

$$y_{\max} = 0,37\text{m}.$$

Figura 50. Comparación de resultados y forma de la trayectoria del chorro laminar con un ángulo de posición de 30°



Fuente: Autores

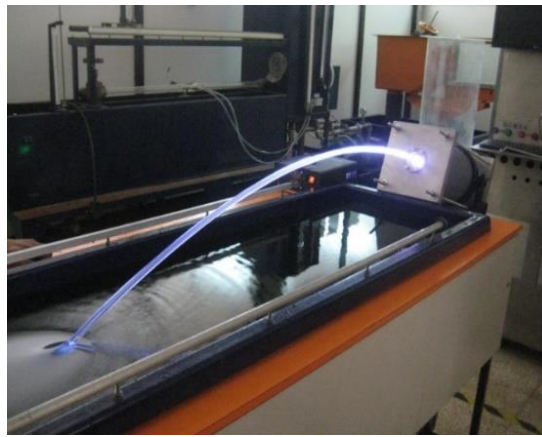
6.3.6 Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 15^\circ$; $Q = 30\text{Lt/min}$

Alcance $x = 1,25\text{m}$ \therefore Altura $y_{\text{máx}} = 0,24\text{m} \rightarrow$ Datos experimentales.

$$y_0 = 0,2\text{m}$$

$$g = 9.81\text{m/s}^2.$$

Figura 51. Experimentación con un ángulo de posición $\alpha_0 = 15^\circ$



Fuente: Autores

Velocidad del chorro laminar a la salida de la boquilla (teórico).

$$v_0 = \frac{x}{\cos \alpha_0} * \sqrt{\frac{g}{2(x \tan \alpha_0 - y_0)}}$$

$$v_0 = \frac{1,25\text{m}}{\cos 15^\circ} * \sqrt{\frac{9,81\text{m/s}^2}{2(1,25\text{ m} * \tan 15^\circ - (-0.2\text{m}))}}$$

$$v_0 = \frac{1,25\text{m}}{\cos 15^\circ} * \sqrt{\frac{9,81\text{m/s}^2}{2(1,25\text{ m} * \tan 15^\circ + 0,2\text{m})}}$$

$$v_0 = 3,92\text{ m/s}$$

Caudal teórico.

$$Q_t = v_0 * A, [m^3/s]$$

$$Q_t = 3.92 \text{ m/s} * 1,77 \times 10^{-4} m^2 [m^3/s]$$

$$Q_t = 6.9 \times 10^{-4} [m^3/s]$$

$$Q_t = 41.61 [Lt/min]$$

Velocidad al final del trayecto del chorro laminar.

$$v_f = \sqrt{(v_0 \cos \alpha_0)^2 + (v_0 \sin \alpha_0 + \sqrt{2gy_0})^2}$$

$$v_f = \sqrt{(3,92 \text{ m/s} * \cos 15^\circ)^2 + (3,92 \text{ m/s} * \sin 15^\circ + \sqrt{2 * (-9,81 \text{ m/s}^2) * (-0.2 \text{ m})})^2}$$

$$v_f = \sqrt{(3,92 \text{ m/s} * \cos 15^\circ)^2 + (3,92 \text{ m/s} * \sin 15^\circ + \sqrt{2 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0.2 \text{ m}})^2}$$

$$v_f = 4,83 \text{ m/s}$$

Altura que alcanza el chorro laminar.

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha_0}{2g}$$

$$h = \frac{(3,92 \text{ m/s})^2 \sin^2 15^\circ}{2 * 9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$h = 0,05 \text{ m.}$$

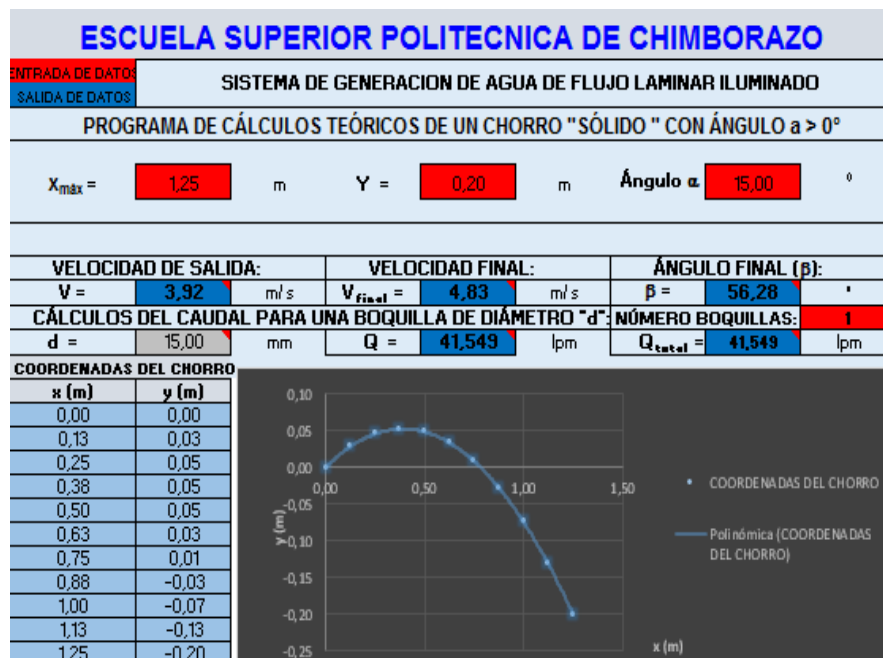
Para saber la altura total que alcanza el chorro, se tendrá que sumar al valor anterior la altura que está ubicada la boquilla con respecto al nivel de agua en reposo.

$$y_{max} = h + y_0$$

$$y_{max} = 0,05m + 0,2$$

$$y_{max} = 0,25m.$$

Figura 52. Comparación de resultados y forma de la trayectoria del chorro laminar con un ángulo de posición de 15°



Fuente: Autores

Después de las diferentes experimentaciones realizadas se puede concluir que en la comparación del análisis teórico con el experimental los datos de caudal y altura varían proporcionalmente, ya que el caudal de experimentación se mantuvo constante de 30 litros por minuto debido a los límites del reservorio.

En la siguiente tabla se puede apreciar todos los datos obtenidos en la fase de experimentación, con diferentes ángulos del dispositivo laminar jet.

Tabla 20. Datos obtenidos experimentalmente

Denominacion	Angulo	Diametro	alcance horizontal	Altura Experimental	Caudal Experimental	Velocidad Inicial Experimental	Altura Teorico	Caudal Teorico	Velocidad Inicial Teorico	Reynolds
simbologia	α	d	X	Ymax.	Q	Vo	Ymax.	Q	Vo	Re
unidades	(°)	(mm)	(m)	(m)	(L/min)	(m/s)	(m)	(L/min)	(m/s)	
	15	15	1,25	0,24	30	2,83	0,25	41,56	3,92	3,72E+04
	30	15	1,5	0,34	30	2,83	0,37	39,44	3,72	3,72E+04
	45	15	1,7	0,48	30	2,83	0,6	40,93	3,86	3,72E+04
	60	15	1,76	0,6	30	2,83	0,9	45,91	4,33	3,72E+04
	75	15	1,68	0,73	30	2,83	1,7	59,91	5,65	3,72E+04
	85	15	1,08	0,98	30	2,83	3,2	82,17	7,75	3,72E+04

Fuente: Autores

A continuación se realizará una comparación con los datos experimentales de las prácticas realizadas con los datos técnicos del equipo laminar jet de la empresa Lumiartecnia Internacional.

Tabla 21. Datos Lumiartecnia Internacional

Conexión/Connection	1" H											
Salida ϕ / output ϕ	15 mm.											
Ángulo de salida Output angle	30°	45°	60°	75°								
Alcance horizontal Horizontal range, L (m)	Q	P	h	Q	P	h	Q	P	h	Q	P	h
	l/min	m.c.a.	m	l/min	m.c.a.	m	l/min	m.c.a.	m	l/min	m.c.a.	m
1	22	0.55	0.14	21	0.5	0.25	23	0.6	0.43	30	1.0	0.93
2	33	1.2	0.29	30	1.0	0.5	33	1.2	0.87	43	2.0	1.87
3	39	1.7	0.43	37	1.5	0.75	39	1.7	1.3	52	3.0	2.80
4	45	2.2	0.58	43	2.0	1.0	45	2.2	1.73			
5	51	2.9	0.72	47	2.4	1.25	51	2.9	2.16			
6	56	3.5	0.87	52	3.0	1.5	56	3.5	2.6			
7				56	3.5	1.75						

Fuente: Catálogo de fuentes Lumiartecnia Internacional

Como se puede apreciar que para un alcance de 1 metro y una altura de 0,93 metros con un caudal de 30 litros por minuto y un ángulo de inclinación de 75°, los datos del dispositivo laminar jet (ESPOCH) en las mismas condiciones de funcionamiento entregan un mayor alcance de 1,68 metros y una altura de 0,73 metros, con lo cual se puede concluir que el dispositivo laminar jet (ESPOCH) se encuentra en el mismo rango de funcionamiento y la misma tecnología de los demás dispositivos fabricados en el exterior.

6.4 Manual de mantenimiento

Se puede definir al mantenimiento como el control constante de los equipos e instalaciones, poniendo en marcha un conjunto de trabajos de revisión y reparación necesarios para garantizar el buen funcionamiento y estado de conservación de un sistema.

Para esto se ha realizado un manual de mantenimiento preventivo, de acuerdo a las especificaciones técnicas, de trabajo y vida útil de cada elemento del equipo.

6.5 Manual de operaciones

- Es muy importante que antes de operar el equipo laminar jet se realice una lectura minuciosa del manual de operación. Si se opera según los manuales, el equipo no presentará problemas de ningún tipo.
- Verificar que el equipo laminar jet se encuentre libre de sustancias y artículos extraños para evitar alteraciones en su funcionamiento y fallas.
- Asegurarse de que todos sus componentes se encuentren en su estado y posición óptima para comenzar a operar.
- El agua suministrada al equipo laminar jet debe estar limpia y previamente filtrada, estando recomendado para ello un filtro con aberturas no superiores a 130 micras.
- Comprobar que el espacio donde será colocado el equipo cuente con la superficie totalmente plana, ya que de lo contrario esto afectaría a la operación de la misma. Se requiere que el lugar de trabajo cuente con las dimensiones mínimas requeridas que son de 3 m de alto, 2 m de ancho y 3 m de largo.
- Inspeccionar que se cuente con una conexión de corriente eléctrica de 110V.
- Debemos asegurarnos que el botón de encendido se encuentre en la posición de apagado.
- Verificar que el equipo se encuentre conectada a la corriente eléctrica.
- Llenar el tanque con 700 L de agua libres de impurezas.
- Encender el equipo mediante el disyuntor ubicado en el interior del tablero de control y seleccionar el programa a realizarse.

- Una vez cumplido el programa se debe apagar el equipo, dejando todos los elementos del equipo perfectamente limpios.
- Tomar en cuenta que este equipo trabaja con electricidad la misma que al entrar en contacto con el agua podrá ocasionar desperfectos.

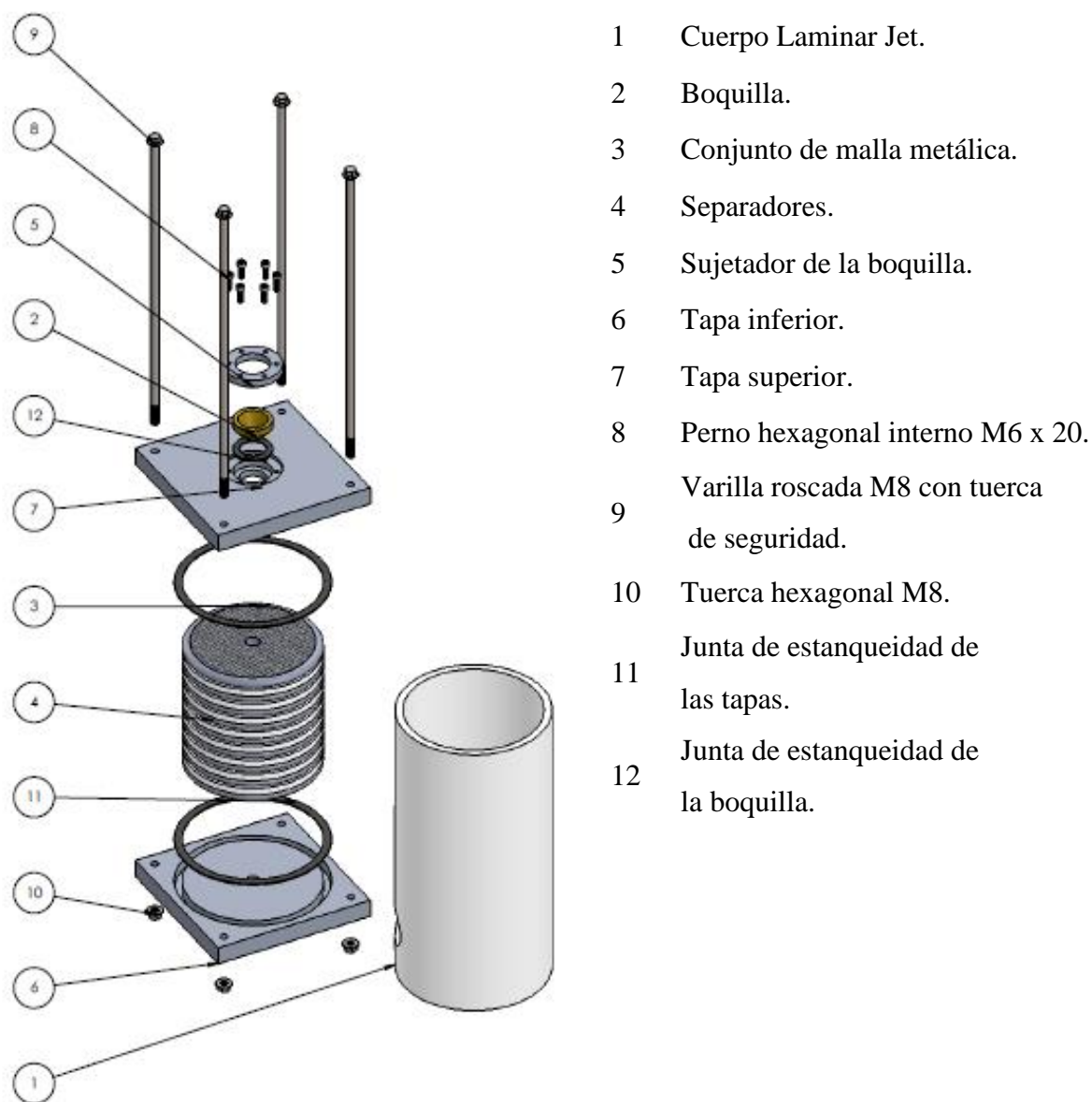
6.6 Instrucciones de mantenimiento y limpieza del equipo laminar jet

Aquí se presentan un conjunto de actividades programadas de antemano para mantener al equipo en buen estado, trabajando en condiciones óptimas y reducir la frecuencia y el impacto de las fallas.

- Desconectar la bomba de impulsión.
- Desconectar la fuente de alimentación de la unidad de iluminación.
- Aflojar las dos tuercas hexagonales tipo mariposa para colocar el conjunto en posición de 90° (salida del chorro en posición vertical), fijándolo nuevamente en esta posición en la estructura.
- Desenroscar las cuatro tuercas de seguridad hexagonales de la parte superior (9) del dispositivo y las cuatro tuercas hexagonales de la parte inferior (10), prestando atención a las arandelas dentadas de bloqueo.
- Desenroscar los seis tornillos superiores de cabeza hexagonal interna (8).
- Desmontar el sujetador de la boquilla (5) y la boquilla (2), prestando atención a la junta de estanqueidad entre la boquilla y la tapa superior (12).
- Desenroscar las cuatro varillas roscadas (9) y desmontar el conjunto de la tapa superior del chorro (7) en el mismo sentido de salida del chorro.
- Desmontar en el mismo sentido del punto anterior el cuerpo de PVC (1) y, a continuación:
 - Los diez separadores de salida (4).
 - Los diez conjuntos de mallas (3).
- Los elementos mencionados en el punto anterior han de limpiarse completamente sin dañarlos. Usar lo siguiente:

- Agua jabonosa.
 - Cepillo de cerdas plásticas.
 - Es importante aclarar en agua limpia hasta eliminar todos los restos de jabón.
- Desmontar y limpiar las juntas de estanqueidad (11 y 12) y las tapas (6 y 7). En este punto del proceso, se realiza el mantenimiento de la fibra óptica, consistente en lijar el extremo del emisor de luz. Para ello utilice la lija de grano superfino (incluida), limpiando los restos que queden tras este proceso con un trapo húmedo.
 - Una vez realizada la limpieza de los elementos mencionados anteriormente, proceder a su montaje según el orden que se detalla. (El conjunto debe estar en posición vertical).
- Posicionar las juntas de estanqueidad (11) en las tapas (6 y 7). En caso de estar dañadas deberán ser sustituidas.
 - Colocar el cuerpo de PVC (1) en la tapa inferior (6), sobre la junta de estanqueidad (11).
 - Introducir los dos separadores de entrada (4).
 - Introducir los diez conjuntos de mallas (3).
 - Introducir los cuatro separadores de salida (4).
 - Montar la tapa superior (7) con las varillas roscadas de fijación (9) sobre la tapa inferior (6), Verificar que las juntas de estanqueidad (11), han quedado bien posicionadas.
 - Montar las arandelas dentadas y roscar las tuercas hexagonales (10).
 - Roscar los seis tornillos de cabeza hexagonal (8) de la tapa superior (7), junto con el sujetador de la boquilla (5).
- Colocar el emisor de agua con el ángulo de salida deseado.
 - Desmontar el filtro ubicado a la salida de la bomba.
 - Sacar las anillas del filtro para su respectiva limpieza de impurezas.
 - Montar nuevamente el filtro junto con las anillas.
 - Llenar el reservorio con agua antes del encendido del equipo.
 - No cebar la bomba ya que es autocebante.
 - Verificar que el equipo al estar en funcionamiento no exista fugas en el dispositivo laminar jet, si las existen hay problemas en las juntas de estanqueidad.

Figura 53. Especificación de cada pieza del equipo



Fuente: Autores

6.7 Guía para prácticas de laboratorio

Permanentemente se realizan prácticas de laboratorio para asentar los conocimientos teóricos aprendidos en clase, por lo cual se preverá de una guía de laboratorio que facilite su entendimiento la cual se encuentra en los anexos, además se detallará el procedimiento que los estudiantes deben seguir para realizar una práctica segura y completa.

CAPÍTULO VII

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Se construyó y diseñó un sistema de generación de agua de flujo laminar iluminado para el laboratorio bajo los criterios de diseño, cálculos realizados e información recopilada de generadores de agua de flujo laminar.

El principio de funcionamiento del sistema de generación de agua de flujo laminar iluminado se basa en la transformación de flujo turbulento a laminar. Todos los datos y fórmulas recopiladas en el marco teórico de esta tesis han sido la base fundamental para el diseño del equipo.

El sistema de generación de agua de flujo laminar iluminado en condiciones de trabajo similares a las vistas en videos, con un ángulo de inclinación de 45 grados con la horizontal genera un chorro con una altura máxima de 0,56m y un alcance máximo de 1,7 m, sin perturbaciones ni rociado del flujo.

7.2 Recomendaciones

Asegurar y comprobar que la válvula de compuerta no esté totalmente abierta debido a que los cálculos se realizaron para obtener un chorro con un alcance y altura máxima; por lo que si se abre totalmente el chorro sobrepasará las dimensiones del reservorio.

Utilizar agua limpia y filtrada con anterioridad sin ningún tipo de impurezas, para evitar la obstaculización y taponamientos en las mallas metálicas inoxidable que componen el equipo.

Seguir ordenadamente y de forma obligatoria el procedimiento que se menciona en la guía de laboratorio para obtener resultados confiables durante las prácticas.

Llevar un control continuo de mantenimiento del equipo, asegurando de esta forma su correcto funcionamiento y vida útil. Para ello se ha generado un plan de mantenimiento preventivo, que se deberá consultar en caso de requerirse.

Ampliar las investigaciones que surgen alrededor de la idea principal de este proyecto, y enfocarse en el mecanismo de corte que sirve para dar una apariencia de chorro flotante en tramos entrecortados, ya que es una de las grandes dificultades, debido a que un servomotor debe ir sumergido en el interior del cuerpo del laminar jet y estar en contacto con el agua.

Instalar un manómetro antes de la entrada entre la bomba y el dispositivo laminar jet con lo cual se conseguirá la caída de presión exacta que ocurre en los accesorios del cual está compuesto el sistema.

BIBLIOGRAFÍA

EMB, Grupo Editorial. 2007. Iluminación por Fibra Óptica. *Iluminación por Fibra Óptica*. [En línea] Lunes de Noviembre de 2007. [Citado el: Martes de Enero de 2013.] <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=830&edi=46>.

MOTT, Robert. 2006. *Mecánica de Fluidos*. México : Pearson Educación, 2006. ISBN 970-26-08056-8.

POTTER, Merle y Wiggert. 2002. *Mecánica de Fluidos*. México : Thomson, 2002. ISBN 970-656-205-6.

SERWAY, Raymond A. y Jhon W. Jewett. 2008. *Física para ciencias e ingeniería*. México : Cengage Learning Editores S. A., 2008. ISBN-13: 978-607-481-357-9.

SIEMENS. 2003. Manual de Logo Siemens 06/2003. [En línea] Lunes de Junio de 2003.[Citado el: Miércoles de Diciembre de 2013.] http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&sqi=2&ved=0CD8QFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.amelero.com%2Fapp%2Fdownload%2F5555324364%2FLOGO!%2BManual.pdf%3Ft%3D1324282012&ei=vTJMU5WbCsS40QHU-IGgBw&usg=AFQjCNGgOL90_8mNBxsSaDlccWL217gjEA&sig.

YOUNG, Hugh y Freedman. 2009. *Física Universitaria Volumen 1*. México : Pearson Educación, 2009. ISBN 978-607-442-288-7.

